

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh kovaného šoupátka

Design of forged Gate Valve

Student:

Petr Kriebel

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Ostrava 2013

---

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání bakalářské práce

Student:	<b>Petr Kriebel</b>
Studijní program:	B2341 Strojírenství
Studijní obor:	2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace:	70 Zemní, těžební a stavební stroje
Téma:	Návrh kovaného šoupátka Design of Forged Gate Valve

### Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce zpracujte rešerši dané problematiky. Vypracujte konstrukční návrh kovaného šoupátka o světlosti DN80. Požadované provozní podmínky: maximální teplota 450°C, maximální tlak 320 barů. Technické parametry: šoupátko z materiálu 1.0460, ovládání ručním kolem. Odolnost na média: vodu, vodní páru a plyny. Návrh podložte příslušnými pevnostními výpočty. Bližší specifikace provozních podmínek a parametrů určí zadavatel – fa Arako spol. s r.o.

### Seznam doporučené odborné literatury:

BROŽ, L. *Hutnictví železa*. Praha: SNTL, Praha 1988. 460 str.  
BROŽ, L. *Výroba surového železa*. Ostrava: VŠB, Ostrava 1964. 173 str.  
BOLEK, A. a kol. *Části strojů*. Praha: SNTL Praha, 1990.  
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36s.  
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1996. 32s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2013

  
.....  
podpis studenta

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 20. 5. 2013



Petr Kriebel

Jméno a příjmení autora práce: Petr Kriebel  
Adresa trvalého pobytu autora práce: Služovice 157  
747 28

**ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

KRIEBEL, P. *Návrh kovaného šoupátka: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování – 340, 2013, 52 s. Vedoucí práce: Fries, J.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem kovaného šoupátka S 43 dle technických a provozních parametrů. V úvodu je vypracovaný technický popis a použití kovaného šoupátka. Následně je zpracovaný konstrukční návrh kovaného šoupátka společně s návrhovým výpočtem. Dále je proveden kontrolní výpočet metodou MKP v programu SolidWorks Simulation 2011. V příloze bakalářské práce je doložen sestavný výkres kovaného šoupátka s výrobními výkresy některých součástí.

**ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

KRIEBEL, P. *Design of forged Gate Valve: annotation of bachelor thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine parts and Mechanisms – 340, 2013, 52 p. Thesis head: Fries, J.

Thesis deals with design of forged gate valves according to technical and operational conditions. Technical description and description of the use of forged valve is included in introduction of the thesis. There is included design and design calculation in following chapter. Thesis also contains finite element analysis of the valve using software SolidWorks Simulation 2011. Drawing, manufacturing drawing and assembly drawing is included in annexes.

**Obsah**

	strana
Seznam použitých značek a symbolů.....	4
1 Úvod.....	14
2 Konstrukce kovaného šoupátka .....	14
2.1 Technický popis .....	14
2.2 Konstrukční řešení .....	16
2.3 Zkoušení kovaného šoupátka .....	17
2.4 Jištění tlaku nad klínem.....	18
2.4.1 Popis.....	18
2.4.2 Způsoby jištění prostoru nad klínem .....	18
3 Návrhový výpočet.....	19
3.1 Základní informace pro výpočet .....	20
3.2 Výpočet ovládacích sil k otevření a uzavření kovaného šoupátka.....	22
3.3 Návrh vřetene .....	23
3.4 Návrh klínu.....	25
3.5 Návrh tělesa.....	26
3.6 Návrh tlakového víka a děleného kroužku.....	29
3.7 Návrh matice .....	31
3.8 Návrh tloušťky stěn tlakového víka .....	32
3.9 Návrh příruby a šroubů ucpávky.....	33
3.10 Návrh vřetenové matice .....	34
3.11 Návrh závitového kroužku .....	35
3.12 Návrh třmene.....	36
3.13 Návrh pera.....	39
3.14 Návrh šroubů spojující těleso úplné – třmen.....	40
4 Kontrolní výpočet .....	40
4.1 Mezní stavy .....	41

4.2	Zatížení výpočtového modelu .....	41
4.3	Limitní hodnoty .....	41
4.4	Analyzované oblasti .....	42
4.5	Výpočtové modely .....	43
4.6	Výsledky .....	44
5	Výpočet tlakové ztráty .....	47
5.1	Popis tlakové ztráty .....	47
5.2	Výpočet tlakové ztráty .....	47
6	Závěr .....	50
7	Seznam použité literatury .....	51
8	Seznam příloh .....	52

### Seznam použitých značek a symbolů

$A_{fl}$	Účinná plocha průřezu tělesa z CAD výkresu	$[mm^2]$
$A_{fII}$	Účinná plocha průřezu tělesa z CAD výkresu	$[mm^2]$
$A_{pI}$	Plocha zatěžována tlakem	$[mm^2]$
$A_{pII}$	Plocha zatěžována tlakem	$[mm^2]$
$D$	Střední průměr těsnicí plochy	$[mm]$
$DN$	Jmenovitá světlost kovaného šoupátka	$[mm]$
$D_e$	Vnější průměr sedla	$[mm]$
$D_i$	Vnitřní průměr sedla	$[mm]$
$D_k$	Průměr ručního kola	$[mm]$
$D_l$	Střední průměr ložiska	$[mm]$
$D_u$	Průměr vřetene v místě ucpávky	$[mm]$
$D_s$	Rozměr „S” matice	$[mm]$
$D_1$	Průměr díry pro šroub	$[mm]$
$D_2$	Průměr hřídele	$[mm]$
$D_3$	Vnitřní průměr náboje třmene	$[mm]$
$F$	Síla vyvolaná na vřetení třením ucpávky	$[N]$
$F_B$	Síla od tlaku media na tlakovém víku	$[N]$
$F_H$	Horizontální síla působící na klín	$[N]$
$F_O$	Otevírací osová síla	$[N]$
$F_Z$	Uzavírací osová síla	$[N]$
$F_b$	Síla k ovládní ručního kola	$[N]$
$F_d$	Síla potřebná pro otevření klínu	$[N]$
$F_{sb}$	Osová síla na ucpávce	$[N]$
$F_{umin}$	Minimální potřebná síla na utěsnění armatury v ucpávce	$[N]$
$F_2$	Minimální síla pro těsnost tlakového víka	$[N]$
$I_2$	Moment setrvačnosti v řezu II-II	$[mm^4]$
$I_3$	Moment setrvačnosti v řezu III-III	$[mm^4]$
$K_v$	Průtokový součinitel vody	$[m^3/h]$
$M$	Ohybový moment třmenového víka	$[Nmm]$
$M_b O$	Otevírací moment šoupátka	$[Nm]$
$M_b Z$	Uzavírací moment šoupátka	$[Nm]$
$M_{max}$	Ohybový moment na klínu	$[Nmm]$
$M'o$	Ohybový moment namáhající řez 1-1	$[Nm]$



$M_r$	Ohybový moment namáhající nákrůžek	[Nm]
$M_t$	Ohybový moment na víku	[Nmm]
$M_u$	Utahovací moment matice	[Nmm]
$M_3$	Ohybový moment namáhající řez 3-3	[Nm]
$P$	Rozteč závitu	[-]
$P_N$	Jmenovitý tlak kovaného šoupátka	[bar]
$P_D$	Dovolený tlak v závitech vřetenové matice	[MPa]
$P_{D1}$	Dovolený tlak mezi vřetenem a klínem	[MPa]
$P_{kl}$	Vypočtený tlak mezi klínem a vřetenem	[MPa]
$P_z$	Vypočtený tlak v závitech vřetenové matice	[MPa]
$P_1$	Přítlačná síla v dosedacích plochách	[N]
$P_3$	Přítlačná síla na klínu od tlaku	[N]
$R$	Poloměr nákrůžku třmene $D_3/2$	[mm]
$R_A$	Reakce na třmenu v bodu „A“	[N]
$S_n$	Normálová plocha závitu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	Velikost plochy klínu, na kterou působí tlak	[mm <sup>2</sup> ]
$S_t$	Velikost těsnicí plochy sedla tělesa	[mm <sup>2</sup> ]
$S_u$	Plocha jádra závitu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_1$	Plocha ramene v řezu I-I	[mm <sup>2</sup> ]
$S_2$	Plocha ramene v řezu II-II	[mm <sup>2</sup> ]
$W_1$	Ohybový modul průřezu I-I	[mm <sup>3</sup> ]
$W'_1$	Pomocný ohybový modul průřezu I-I	[mm <sup>3</sup> ]
$W_2$	Ohybový modul průřezu II-II	[mm <sup>3</sup> ]
$W_3$	Ohybový modul průřezu III-III	[mm <sup>3</sup> ]
$a$	Minimální šířka zápichu pro kroužek	[mm]
$a_k$	Šířka dotykové plochy mezi vřetenem a klínem	[mm]
$a_s$	Skutečná šířka nad opěrným kroužkem	[mm]
$b$	Šířka těsnicí plochy sedla tělesa	[mm]
$b_D$	Šířka těsnění	[mm]
$b_k$	Minimální šířka distančního kroužku	[mm]
$b_p$	Šířka pera	[mm]
$b_u$	Šířka příruby ucpávky	[mm]
$b_v$	Šířka hlavy vřetene	[mm]
$b_1$	Velikost závrtné části šroubu	[mm]
$b_2$	Šířka rozsochy	[mm]

$b_3$	Vnější průměr náboje třmenového víka	[mm]
$c_1$	Přídavek na výrobní tolerance	[mm]
$c_2$	Přídavek na korozi	[mm]
$d$	Vnitřní průměr horní válcové části	[mm]
$d_A$	Vnější průměr horní válcové části	[mm]
$d_B$	Vnitřní průměr tělesa nad opěrným kroužkem	[mm]
$d_I$	Vnitřní průměr svaru	[mm]
$d_a$	Velký průměr závitu	[mm]
$d_b$	Střední průměr těsnění	[mm]
$d_c$	Vnitřní průměr opěrného kroužku	[mm]
$d_e$	Vnější průměr tělesa	[mm]
$d_s$	Vnější průměr svaru	[mm]
$d_i$	Vnitřní průměr tlakového víka	[mm]
$d_k$	Průměr čepu klínů	[mm]
$d_m$	Nejmenší průměr vřetene	[mm]
$d_n$	Střední průměr opěrného kroužku	[mm]
$d_p$	Vnější průměr tlakového víka	[mm]
$d_v$	Vnější průměr opěrného kroužku	[mm]
$d_0$	Vnitřní průměr rozsochy	[mm]
$d_1$	Malý průměr závitu	[mm]
$d_2$	Střední průměr závitu	[mm]
$d_3$	Průměr jádra závitu	[mm]
$d_4$	Vnitřní průměr průtokové části	[mm]
$d_5$	Vnitřní průměr nákrůžku třmenového víka	[mm]
$e$	Skutečná tloušťka stěny v tlakovém víku	[mm]
$e_c$	Minimální tloušťka stěny průtokové části s přídavkem	[mm]
$e_{ck}$	Skutečná tloušťka stěny v konické části	[mm]
$e_{c0}$	Minimální tloušťka stěny průtokové části	[mm]
$e_{c1}$	Minimální tloušťka stěny horní válcové části	[mm]
$e_{c2}$	Minimální tloušťka stěny horní válcové části s přídavkem	[mm]
$e_{min}$	Minimální tloušťka stěny v tlakovém víku	[mm]
$e_0$	Skutečná tloušťka svaru	[mm]
$e_s$	Minimální tloušťka stěny ve svaru	[mm]
$e_1$	Šířka v řezu I-I zvolená dle hodnoty „a”	[mm]
$e_2$	Pomocná šířka	[mm]

$e_3$	Skutečná tloušťka průtokové stěny	[mm]
$e_4$	Skutečná tloušťka horní válcové části	[mm]
$f_c$	Součinitel tření na klínu při zavírání	[-]
$f_l$	Součinitel tření v ložiscích	[-]
$f_m$	Součinitel tření pod maticí	[-]
$f_o$	Součinitel tření na klínu při otevírání	[-]
$f_u$	Součinitel tření v ucpávce	[-]
$f_z$	Součinitel tření na závitě vřetene	[-]
$h_D$	Minimální výška těsnicího výstupku na víku	[mm]
$h_k$	Tloušťka klínu	[mm]
$h_m$	Střihová výška vřetenové matice	[mm]
$h_p$	Výška pera	[mm]
$h_r$	Výška příruby ucpávky	[mm]
$h_u$	Výška ucpávkového prostoru	[mm]
$h_v$	Tloušťka tlakového víka	[mm]
$h_0$	Minimální výška nad opěrným kroužkem	[mm]
$h_1$	Minimální výška opěrného kroužku	[mm]
$h_2$	Výška nákrůžku třmenového víka	[mm]
$h_3$	Střední výška třmenového víka	[mm]
$k$	Součinitel navýšení osových sil	[-]
$k_c$	Součinitel bezpečnosti svarového spoje	[-]
$k_p$	Korekční součinitel na tlak v dosedací ploše	[-]
$l$	Střední šířka třmenového víka	[mm]
$l_{k1}$	Délka vnější hrany nosu klínu	[mm]
$l_{k2}$	Délka svislé hrany nosu klínu	[mm]
$l_p$	Délka pera	[mm]
$l_0$	Délka pro určení výpočtových ploch	[mm]
$l_0'$	Délka pro určení výpočtových ploch	[mm]
$l_1$	Délka pro určení výpočtových ploch	[mm]
$l_2$	Délka pro určení výpočtových ploch	[mm]
$m$	Výška matice	[mm]
$n$	Počet kusů	[-]
$n_1$	Součinitel pro výpočet v ucpávce	[-]
$p_{min}$	Minimální tlak pro těsnost tlakového víka	[MPa]
$p_1$	Potřebný těsnicí tlak na dosedací ploše	[MPa]

$p_2$	Zkušební tlak na těsnost uzávěru kovaného šoupátka	[MPa]
$p_z$	Zkušební tlak na pevnost tlakové obálky	[MPa]
$r$	Rameno síly na ucpávce	[mm]
$r_k$	Poloměr klínu	[mm]
$r_0$	Vnitřní poloměr víka	[mm]
$r_1$	Vnější poloměr víka ke středu těsnění	[mm]
$r_2$	Vnější poloměr nákrůžku třmenového víka $D_3/2$	[mm]
$r_3$	Vnitřní poloměr nákrůžku třmenového víka $d_5/2$	[mm]
$r_4$	Vnitřní poloměr ložiska	[mm]
$s$	Tloušťka hlavy vřetene	[mm]
$s_u$	Výška ucpávkového kroužku	[mm]
$s_1$	Tloušťka ramene třmenového víka v řezu I-I	[mm]
$s_2$	Tloušťka ramene třmenového víka v řezu II-II	[mm]
$t$	Osazení pera v hřídeli	[mm]
$t_{kl}$	Výška střížné plochy klínu	[mm]
$t_{k2}$	Šířka svislé plochy klínu	[mm]
$t_v$	Výška nosu střížné délky vřetene	[mm]
$t_1$	Šířka ramene třmenového víka v řezu I-I	[mm]
$t_2$	Šířka ramene třmenového víka v řezu II-II	[mm]
$t_3$	Osazení pera v náboji	[mm]
$v_3$	Výška náboje třmenového víka	[mm]
$z$	Počet závitů ve vřetenové matici	[-]
$\alpha$	Úhel jedné strany klínů	[°]
$\beta$	Úhel profilu závitu vřetene	[°]
$\zeta$	Ztrátový součinitel	[-]
$\mu$	Poisonova konstanta	[-]
$\mu_k$	Tření mezi jednotlivými kroužky ucpávky	[-]
$\phi'$	Třecí úhel závitu vřetene	[rad]
$\gamma$	Úhel stoupání závitu vřetene	[rad]
$\sigma_{as}$	Axiální napětí ve svaru	[MPa]
$\sigma_d$	Napětí od osově síly	[MPa]
$\sigma_{dc}$	Napětí v čepu klínu	[MPa]
$\sigma_{dm}$	Tahové napětí v nejmenším průměru vřetene	[MPa]
$\sigma_{dn}$	Tahové napětí v nákrůžku třmenového víka	[MPa]
$\sigma_{dl}$	Napětí v tlaku na pero ve vřetenové matici	[MPa]

$\sigma_{d2}$	Napětí v tlaku na pero v ručním kole	[MPa]
$\sigma_n$	Napětí v jádře šroubu	[MPa]
$\sigma_o$	Ohybové napětí v tlakovém víku	[MPa]
$\sigma_{ou}$	Ohybové napětí v přírubě ucpávky	[MPa]
$\sigma_{ok}$	Ohybové napětí na klínu	[MPa]
$\sigma_{on}$	Ohybové napětí v nákrůžku třmenového víka	[MPa]
$\sigma_{RZ}$	Výsledné napětí v závitové části vřetene	[MPa]
$\sigma_{Rm}$	Výsledné napětí v nejmenším $\emptyset$ vřetene	[MPa]
$\sigma_{Rn}$	Výsledné napětí v nákrůžku třmenového víka	[MPa]
$\sigma_{Rs}$	Redukované napětí ve svaru	[MPa]
$\sigma_{rs}$	Radiální napětí ve svaru	[MPa]
$\sigma_{dh}$	Tahové napětí v hlavě vřetena	[MPa]
$\sigma_{k2}$	Tahové napětí v klínu z osově síly	[MPa]
$\sigma_{o3}$	Ohybové napětí třmenového víka v řezu III-III	[MPa]
$\sigma_{o2}$	Ohybové napětí třmenového víka v řezu II-II	[MPa]
$\sigma_{o1}$	Ohybové napětí třmenového víka v řezu I-I	[MPa]
$\sigma'_o$	Pomocné ohybové napětí třmenového víka v řezu I-I	[MPa]
$\sigma_{t2}$	Tahové napětí třmenového víka v řezu II-II	[MPa]
$\sigma_{t1}$	Tahové napětí třmenového víka v řezu I-I	[MPa]
$\sigma_{R2}$	Redukované napětí třmenového víka v řezu II-II	[MPa]
$\sigma_{R1}$	Redukované napětí třmenového víka v řezu I-I	[MPa]
$\tau_k$	Smykové napětí od kroutícího momentu v závitě vřetene	[MPa]
$\tau_{kl}$	Smykové napětí v klínu v místě styku s vřetenem	[MPa]
$\tau_{km}$	Smykové napětí od kroutícího momentu v nejmenším $\emptyset$ vřetene	[MPa]
$\tau_m$	Smykové napětí v závitě matice	[MPa]
$\tau_n$	Smykové napětí v nákrůžku třmenového víka	[MPa]
$\tau_{sp}$	Smykové napětí v peru	[MPa]
$\tau_v$	Smykové napětí vřetene v místě styku s klínem	[MPa]
$\tau_z$	Smykové napětí v závrtné části závitu	[MPa]
$\tau_L$	Smykové napětí vřetenové matice v usazení mezi ložisky	[MPa]

## 1 Úvod

Cílem bakalářské práce je konstrukční návrh kovaného šoupátka S43 z materiálu 1.0460 o světlosti DN80/65 z vývojového úkolu VU01/2010 firmy Arako spol. s.r.o. Kované šoupátko musí být navrženo na jmenovitý tlak PN320 s maximální teplotou použití 450°C. Firma Arako spol. s.r.o. vydala tento vývojový úkol kvůli vysoké poptávce vysokotlakých šoupátek, kde již nebylo možné použití litých šoupátek s maximálním tlakem pouze do PN160.

## 2 Konstrukce kovaného šoupátka

### 2.1 Technický popis

Šoupátko typu S43 slouží jako uzavírací prvek skupiny tekutin 2 dle Směrnice Evropského parlamentu a Rady 97/23/ES(vodu, vodní páru, plyny) používané v energetických a chemických zařízení a je ovládáno ručním kolem (obr. 2.1) nebo elektropohonem (obr. 2.2). Tato armatura slouží jen pro plné otevření nebo uzavření proudícího média. Není ji možné použít jako regulační ani škrťací armaturu. Protékající médium může proudit oběma směry, nesmí však obsahovat abrazivní látky a nečistoty, které mohou zhoršit funkci kovaného šoupátka. Díky rovnoosému tělesu dochází při proudění tekutiny kovaným šoupátkem i za použití zúženého sedla k minimální tlakové ztrátě ( $\zeta = \max. 1$ ). Výhoda zúženého sedla je v nižších uzavíracích a otevíracích silách, dle kterých můžeme armaturu dimenzovat podstatně menší. Tímto ušetříme na menších vstupních polotovarech, jejich opracování, možném použití slabších elektropohonů a to bez vlivu na funkci kovaného šoupátka v provozu. Šoupátka jsou konstruována na plný tlakový spád a není potřeba použít obtok.



Obr. 2.1 Kované šoupátko ovládané ručním kolem



Obr. 2.2 Kované šoupátko ovládané elektrickým pohonem

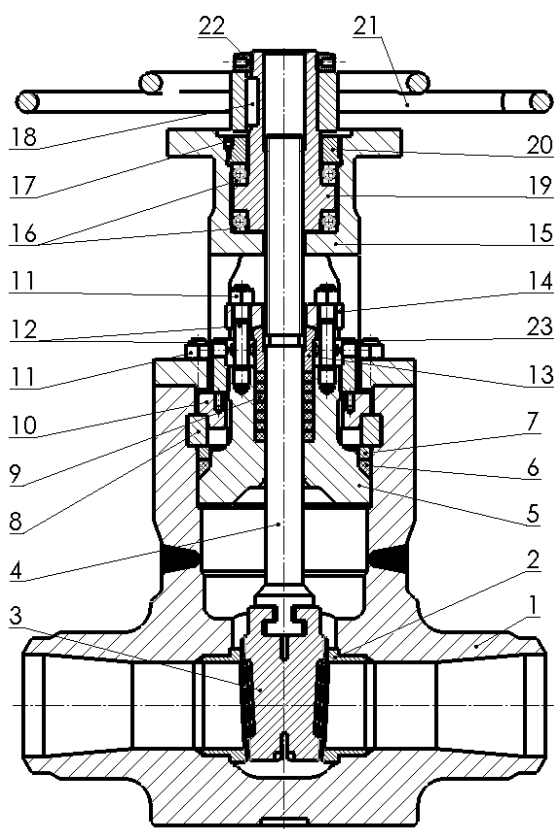


Obr. 2.3 Řez kovaným šoupátkem

## 2.2 Konstrukční řešení

Těleso šoupátka může být zápusťkový nebo volný výkovek, ke kterému je přivařena horní příruba. Dle požadavků zákazníka, může být těleso opatřeno přivařovacím nebo přírubovým koncem. V tělese jsou nalisována a zavařena těsnícím svarem sedla, opatřena tvrdým stelitovým návarem. Těleso úplné je opatřeno přesným vedením klínu, které je vsazené v drážce a pojištěné koutovým svarem. Utěsnění horní příruby je pomocí tlakového víka, které vlivem vysokého tlaku média utěsňuje tuto partii. Použije-li se šoupátko na pracovní tlak do 100 barů, je nutné vyvolat těsnící tlak na těsnění pomocí kruhové matice. Těsnění tlakového víka je pomocí lisovaného expandovaného grafitu s úkosem  $45^\circ$  pro použití menších utěšňovacích sil. Poloha těsnění je zajištěna distančním kroužkem přesných rozměrů a děleným kroužkem. Dělený kroužek se skládá ze 4 segmentu rozříznutých tak, aby se je dalo jednotlivě vložit do drážky tělesa úplného. Tato partie nahrazuje klasický přírubový spoj s plochým těsněním. Segmenty děleného kroužku jsou pojištěny opěrným kroužkem, který znemožní posun mimo drážku v tělese úplném. Pro snadnější demontáž segmentů je na tělese úplném po obvodu drážky odvrtno 6 otvorů. Jako uzavírací element kovaného šoupátka je použitý pružný klín s úkosem jedné strany 1:20 opatřen taktéž tvrdým stelitovým návarem. Těsnící plochy tělesa a klínu jsou lapovány na drsnost povrchu  $Ra = 0,2$ . Pro lepší funkci kovaného šoupátka je klín díky vysoustružené drážce pružný. Tím dochází k přizpůsobení klínu při zavírání na sedlovou partii v tělese úplném. Utěsnění pohyblivého vřetene je pomocí ucpávkových kroužků z expandovaného lisovaného a pleteného grafitu. Ucpávka může být konstruovaná v provedení s trvale dotlačovanou pružinou. Toto konstrukční řešení se využívá v případech, kde provozní podmínky nedovolují častou kontrolu stavu armatury, nebo charakter provozu vylučuje pravidelnou údržbu ucpávky. Vřeteno je v místě styku s ucpávkou opatřeno válečkovaným povrchem drsnosti  $Ra = 0,2$ . Třmenové víko je vyrobeno z kulatiny. Ve třmenovém víku jsou kuličková ložiska, která přenášejí osovou sílu z bronzové vřetenové matice. Vřeteno i vřetenová matice jsou opatřeny levým lichoběžníkovým rovnoramenným jednochodým závitem. Osová síla ve vřetenové matici se mění na krouticí moment, který je do ručního kola přenášen přesným perem. Třmenové víko může být opatřeno dle požadavků zákazníka s úpravou pro pohon, s úpravou pro dálkové ovládání, s ukazatelem polohy otevřeno-zavřeno, s elektronickým snímačem polohy apod.





Poz.	Název	Materiál
1	Těleso úplné	1.0460
2	Sedlo	1.0460
3	Klín	1.0460
4	Vřeteno	1.4923 + QT1
5	Tlakové víko	1.0460
6	Těsnění	Grafit
7	Kroužek	1.7715
8	Dělený kroužek	1.7715
9	Těsnění	Grafit
10	Kroužek	1.0460
11	Matice	1.7709 + QT
12	Šroub	1.7709 + QT
13	Pouzdro ucpávky	1.0460
14	Příruba ucpávky	1.0460
15	Třmen	1.0460
16	Ložisko	-
17	Šroub	4.6
18	Pero	11 500
19	Vřetenová matice	42 3046.1
20	Šroubení	1.0460
21	Ruční kolo	1.0460
22	Matice	1.0460
23	Matice	1.0460

Obr. 2.4 Kusovník kovaného šoupátka

## 2.3 Zkoušení kovaného šoupátka

Šoupátka jsou zkoušená dle normy pro průmyslové armatury EN 12 266 – 1 [1] při pokojové teplotě 20°C.

1. **Zkouška P10** (pevnost tělesa) musí potvrdit schopnost tlakového tělesa odolávat vnitřnímu tlaku. Zkušební tekutinou musí být kapalina a klín musí být v částečně otevřené poloze. Připojovací konce tělesa jsou zaslepeny a všechny dutiny zaplněny zkušební tekutinou. Zkušební tekutina se natlakuje na stanovený tlak dle uvedené normy ( $1,5 \cdot P_N \Rightarrow 1,5 \cdot 320 = 480 \text{ bar.}$ ). Zkušební tlak musí být udržován po celou dobu zkoušky, která se určuje dle jmenovité světlosti DN ( $DN80/65 = 60 \text{ s.}$ ). Kované šoupátko musí být zkontrolováno na těsnost, kdy jakýkoliv únik je nepřípustný.
2. **Zkouška P11** (těsnost tělesa) musí prokázat těsnost tělesa včetně utěsnění ovládacího mechanismu při působení vnitřního tlaku. Postup a parametry zkoušení vychází ze zkoušky **P10**, kdy taktéž není dovolený jakýkoliv únik.

3. **Zkouška P12** (těsnost v sedle) musí potvrdit schopnost těsnosti klínu v sedle tělesa úplného. Je nutné dodržet stanovený stupeň netěsnosti ve směrech, pro který je armatura navržena. Zkušební tekutinou musí být kapalina nebo plyn (vzduch). Připojovací konce tělesa jsou zaslepeny a všechny dutiny zaplněny zkušební tekutinou. Uzavírací element – klín se uvede do zavřené polohy. Zkušební tekutina se natlakuje na stanovený tlak dle uvedené normy ( $1,1 \cdot P_N \Rightarrow 1,1 \cdot 320 = 352 \text{ bar.}$ ). Zkušební tlak musí být udržován po celou dobu zkoušky, která se určuje dle jmenovité světlosti DN (kapalina DN80/65 = 60 s, plyn DN80/65 = 15 s). Zjistí se stupeň netěsnosti dle tab. 2.1. Stejný postup se opakuje i pro druhou stranu armatury.

Kovaná šoupátka S43 jsou konstruovaná na stupeň netěsnosti „A“, ale dle požadavků zákazníků pro evropský trh, je dostačující netěsnost „B“.

Tab. 2.1 Maximální dovolená netěsnost v sedle pro všechny stupně netěsnosti v  $\text{mm}^3/\text{s}$  [1]

Zkušební tekutina	Stupeň						
	A	B	C	D	E	F	G
Kapalina	Žádná vizuálně zjistitelná netěsnost po dobu trvání zkoušky	$0,01 \cdot \text{DN}$	$0,03 \cdot \text{DN}$	$0,1 \cdot \text{DN}$	$0,3 \cdot \text{DN}$	$1,0 \cdot \text{DN}$	$2,0 \cdot \text{DN}$
Plyn		$0,3 \cdot \text{DN}$	$3,0 \cdot \text{DN}$	$30 \cdot \text{DN}$	$300 \cdot \text{DN}$	$3000 \cdot \text{DN}$	$6000 \cdot \text{DN}$

## 2.4 Jištění tlaku nad klínem

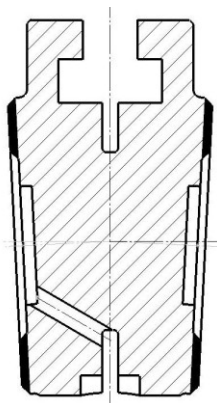
### 2.4.1 Popis

Existuje-li předpoklad, že může dojít za provozu armatury k situaci, kdy po odstavení systému z provozu a následném zchladnutí zůstane určité množství vody ve středové části zavřeného šoupátka, tj. v prostoru nad klínem, je šoupátko vybaveno jištěním středové části tělesa. V opačném případě, začneme-li po čase takové šoupátko v zavřeném stavu prohřívat pomocí obtoku, dochází vlivem zvyšování teploty k nárůstu tlaku média mezi deskami klínu a v prostoru nad nimi (v tzv. komoře). Jištění středové části šoupátka může být provedeno několika způsoby.

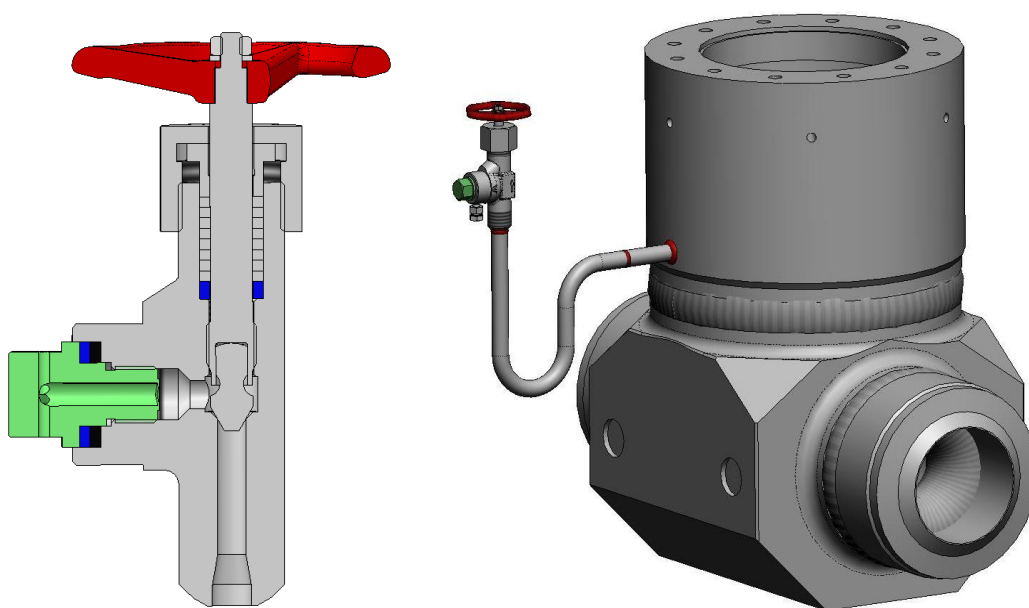
### 2.4.2 Způsoby jištění prostoru nad klínem

- Provrtáním jedné desky klínu (obr. 2.5) a tím propojení středové části se vstupním hrdlem. Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější řešení. Šoupátko lze v tomto případě použít pouze jako jednostrannou armaturu.

- b) Pomocí pojistného zařízení (obr. 2.6), šoupátko je v tomto případě obousměrné. Pojistné zařízení se montuje na kondenzační smyčku vyvedenou z tělesa šoupátka vně jeho tepelné izolace. Součástí pojistného zařízení je uzavírací ventil a to z důvodu výměny průtržné membrány za provozu. Jedná se o sice nejdražší, ale naprosto univerzální řešení. Možné použití na všechna šoupátka a všechny parametry použití.



Obr. 2.5 Vrtaný klín



Obr. 2.6 Těleso s pojistným ventilem a membránou na kondenzační smyčce

### 3 Návrhový výpočet

Tato kapitola obsahuje pevnostní návrhový výpočet kovaného šoupátka S43. Výpočet byl proveden v programu Microsoft Office Excel 2007. Schéma kovaného šoupátka je na obr. 2.4. Fyzikální a mechanické charakteristiky materiálů komponent kovaného šoupátka jsou uvedeny v tab. 3.1. Hodnoty byly převzaty z TP 422-21-60/12 [7].

### 3.1 Základní informace pro výpočet

Tab. 3.1 Fyzikální a mechanické charakteristiky materiálů

	t	[°C]	20	100	200	300	400	450
<b>1.0460</b> <b>(C22.8)</b> Poz. 1, 2, 3, 5, 10, 13, 14, 15, 20, 21, 22 (viz. Tab. 1)	E	[MPa]	211.8	206.1	198.6	190.8	182.6	178.4
	$\mu$	[-]	0.3					
	R <sub>p0.2</sub>	[MPa]	230	220	175	135	90	70
	R <sub>m</sub>	[MPa]	400					
	$\rho$	[g/cm <sup>3</sup> ]	7.85					
	$\lambda$	[W/(m*K)]	55.2	53.1	50.3	47.2	43.8	42
	Q	[J/(kg*K)]	460.4	497.1	532.5	566.8	611.4	641.2
	$\alpha$	[1/K * e <sup>-6</sup> ]	11.3	11.9	12.6	13.2	13.7	13.9
<b>1.7715</b> <b>(14MoV6-3)</b> Poz. 7, 8 (viz. Tab. 1)	E	[MPa]	214.6	210.5	204.4	197	188.4	183.7
	$\mu$	[-]	0.3					
	R <sub>p0.2</sub>	[MPa]	300	282	267	225	209	203
	R <sub>m</sub>	[MPa]	460					
	$\rho$	[g/cm <sup>3</sup> ]	7.76					
	$\lambda$	[W/(m*K)]	23.1	23.8	24.5	25.2	25.7	25.9
	Q	[J/(kg*K)]	441.7	494.7	538.1	574.4	622.6	657.3
	$\alpha$	[1/K * e <sup>-6</sup> ]	10.3	10.7	11.2	11.6	11.9	12.1
<b>1.4923</b> <b>(X20CrMoV12-1)</b> Poz. 4 (viz. Tab. 1)	E	[MPa]	216	209	200	190	179	173
	$\mu$	[-]	0.3					
	R <sub>p0.2</sub>	[MPa]	600	560	530	480	420	380
	R <sub>m</sub>	[MPa]	950					
	$\rho$	[g/cm <sup>3</sup> ]	7.8					
	$\lambda$	[W/(m*K)]	42					
	Q	[J/(kg*K)]	460					
	$\alpha$	[1/K * e <sup>-6</sup> ]	11.1	12.1	12.9	13.5	13.9	
<b>1.7709</b> <b>(21CrMoV5-7)</b> Poz. 11, 12 (viz. Tab. 1)	E	[MPa]	211					
	$\mu$	[-]	0.3					
	R <sub>p0.2</sub>	[MPa]	550	530	500	460	410	380
	R <sub>m</sub>	[MPa]	700					
	$\rho$	[g/cm <sup>3</sup> ]	7.85					
	$\lambda$	[W/(m*K)]	33					
	Q	[J/(kg*K)]	460					
	$\alpha$	[1/K * e <sup>-6</sup> ]		11.1	12.1	12.9	13.5	
<b>11 600</b> Poz.18(viz.Tab.1)	R <sub>p0.2</sub>	[MPa]	295					
	R <sub>m</sub>	[MPa]	590					
<b>42 3046.1</b> Poz.19(viz.Tab.1)	R <sub>p0.2</sub>	[MPa]	265					
	R <sub>m</sub>	[MPa]	590					

Dovolená namáhání pro tlakové části určené dle ČSN EN 12 516-2.

Konstrukční podmínky:

$$\sigma_D = \min \left\{ \frac{R_{p0,2/t}}{1,5}; \frac{R_{m/20}}{2,4} \right\} \quad (3.1)$$

$$\tau_D = \sigma_D \cdot 0,6 \quad (3.2)$$

Tab. 3.2 Dovolená namáhání

Materiál	T [°C]	R <sub>p0,2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>p0,2/t/1,5</sub>	R <sub>m/20/2,4</sub>	σ <sub>D</sub>
<b>1.0460</b> <b>(C22.8)</b>	20	230	400	153	166,7	153
	100	220		147		147
	200	175		117		117
	300	135		90		90
	400	90		60		60
	450	70		47		47
<b>1.7715</b> <b>(14MoV6-3)</b>	20	300	460	200	192	192
	100	282		188		188
	200	267		178		178
	300	225		150		150
	400	209		139		139
	450	203		135		135
<b>1.4923 + QT1</b> <b>(X20CrMoV12-1)</b>	20	600	950	400	633	400
	100	560		373		373
	200	530		353		353
	300	480		320		320
	400	420		280		280
	450	380		253		253
<b>1.7709 + QT</b> <b>(21CrMoV5-7)</b>	20	550	700	367	292	292
	100	530		353		353
	200	500		333		333
	300	460		307		307
	400	410		273		273
	450	380		253		253
<b>11 600</b>	20	295	590	197	246	197
<b>42 3046.1</b>	20	265	590	177	246	177

Pro výpočet jsou uvažovány dva výpočtové tlaky:

$$a) \quad p_z = 1,5 \cdot PN \rightarrow \text{pro návrh tlakové obálky tělesa při 20°C} \quad (3.3)$$

(zkouška pevnosti tělesa P10 dle EN 12266-1 [1])

$$b) \quad p_2 = 1,1 \cdot PN \rightarrow \text{pro návrh ovládacích sil na uzavření při 20°C} \quad (3.4)$$

(zkouška těsnosti v sedle P12 dle EN 12266-1 [1])

### 3.2 Výpočet ovládacích sil k otevření a uzavření kovaného šoupátka

Výpočet byl proveden dle RIND, P. *Potrubní armatury v elektrárnách* [2].

$$D = \frac{D_e + D_i}{2} \quad (3.5)$$

$$p_1 = \frac{p_2 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{\frac{\pi \cdot D \cdot (D_e - D_i)}{2}} \cdot k_p \quad (3.6)$$

$$P_1 = p_1 \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot (D_e - D_i)}{2} \quad (3.7)$$

$$P_3 = p_2 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (3.8)$$

$$F = \frac{f_u \cdot \pi \cdot D_u \cdot h_u}{\frac{\pi}{4} ((D_u + 2 \cdot s_u)^2 - D_u^2) \cdot n_1} \quad (3.9)$$

$$F_{umin} = \frac{\pi \cdot s_u \cdot n_1}{2} \cdot D_u \cdot p_z \cdot \left( e^{\frac{2 \cdot \mu_k \cdot h_u}{s_u \cdot n_1}} - 1 \right) \quad (3.10)$$

$$F_H = P_1 \cdot (\cos(\alpha) + f_c \cdot \sin(\alpha)) \quad (3.11)$$

$$F_d = 2 \cdot P_1 \cdot (\sin(\alpha) + f_o \cdot \cos(\alpha)) + P_3 \cdot (\sin(\alpha) - \tan(\alpha + \arctan(f_o)) \cdot \cos(\alpha)) \quad (3.12)$$

$$F_Z = k \cdot (P_1 \cdot (\sin(\alpha) + f \cdot \cos(\alpha)) + F) \quad (3.13)$$

$$F_O = k \cdot (F_d + F) \quad (3.14)$$

Tab. 3.3 Vstupní parametry pro výpočet ovládacích sil

$D_e$ [mm]	$D_i$ [mm]	$D_u$ [mm]	$s_u$ [mm]	$h_u$ [mm]	$\alpha$ [°]
82	68	28	8	50	2,862

Tab. 3.4 Vstupní koeficienty pro výpočet ovládacích sil

$n_1$ [MPa]	$\mu_k$ [-]	$f_o$ [-]	$f_c$ [-]	$f_u$ [-]	$k$ [-]	$k_p$ [-]
1,12	0,03	0,16	0,13	0,1	1,2	1,05

Tab. 3.5 Výpočet středního těsnícího průměru  $D$ , působících tlaků  $p_1$ ;  $P_1$ ;  $P_3$

$D$ [mm]	$p_1$ [MPa]	$P_1$ [MPa]	$P_3$ [MPa]
75	99	163284	155509

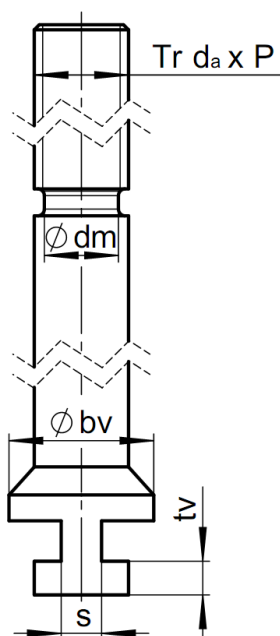
Tab. 3.6 Výpočet sil  $F_H$ ,  $F_d$ ,  $F$ ,  $F_{umin}$  a uzavírací a otevírací osově síly armatury  $F_z$ ,  $F_o$ 

$F_H$ [N]	$F_d$ [N]	$F$ [N]	$F_{umin}$ [N]	$F_z$ [N]	$F_o$ [N]
328281	43378	3265	7523	39142	55972

Z navržených vstupních parametrů je vypočtena uzavírací osová síla  $F_z = 39\,142$  N a otevírací osová síla  $F_o = 55\,972$  N. Vypočtené osově síly dále slouží pro konstrukční návrh dílů kovaného šoupátka.

### 3.3 Návrh vřetene

Výpočet byl proveden dle RIND, P. *Potrubní armatury v elektrárnách* [2]. Ve výpočtu jsou použity hodnoty vřetene zobrazené na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Vstupní návrhové hodnoty vřetene

#### Výpočet uzavíracího a otevíracího momentu

$$M_{bO} = F_o \cdot \left( \tan(\gamma + \phi') \frac{d_2}{2} + f_l \cdot n \cdot \frac{D_l}{2} \right) \quad (3.15)$$

$$M_{bZ} = F_z \cdot \left( \tan(\gamma + \phi') \frac{d_2}{2} + f_l \cdot n \cdot \frac{D_l}{2} \right) \quad (3.16)$$

#### Kontrola závitové části

$$\sigma_{Rz} = \sqrt{\sigma_d^2 + 4 \cdot \tau_k^2} \leq \sigma_D \quad (3.17)$$

$$\sigma_d = \frac{4 \cdot F_o}{\pi \cdot d_1^2} \quad (3.18)$$

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_b O \cdot 1000}{\pi \cdot d_1^3} \leq \tau_D \quad (3.19)$$

$$d_1 = d_a - P \quad (3.20)$$

Kontrola zápichu vřetene

$$\sigma_{Rm} = \sqrt{\sigma_{dm}^2 + 4 \cdot \tau_{km}^2} \leq \sigma_D \quad (3.21)$$

$$\sigma_{dm} = \frac{4 \cdot F_o}{\pi \cdot d_m^2} \quad (3.22)$$

$$\tau_{km} = \frac{16 \cdot M_b O \cdot 1000}{\pi \cdot d_m^3} \leq \tau_D \quad (3.23)$$

Kontrola hlavy vřetene

$$\sigma_{dh} = \frac{F_d \cdot K}{s \cdot b_v} \leq \sigma_D \quad (3.24)$$

$$\tau_v = \frac{F_d \cdot K}{2 \cdot s \cdot b_v} \leq \tau_D \quad (3.25)$$

Tab. 3.7 Vstupní parametry závitové části vřetene

$d_a$ [mm]	$P$ [mm]	$d_1$ [mm]	$d_2$ [mm]	$D_1$ [mm]
28	5	23	25.5	66.5

Tab. 3.8 Vstupní koeficienty

$f_z$ [-]	$f_l$ [-]	$\beta$ [°]	$\phi'$ [rad]	$\gamma$ [rad]
0,15	0,02	30	0,15	0,06

Tab. 3.9 Vstupní parametry hlavy vřetene

$b_v$ [mm]	$s$ [mm]	$d_m$ [mm]	$t_v$ [mm]
42	12	22	10

Tab. 3.10 Kontrola závitové části a zápichu vřetene

$\sigma_{dm}$ [MPa]	$\sigma_{Rm}$ [MPa]	$\tau_{km}$ [MPa]	$\tau_k$ [MPa]	$\sigma_d$ [MPa]	$\sigma_D$ [MPa]	$\tau_D$ [MPa]
147,2	265,8	110,6	96,8	134,7	400	240

Tab. 3.11 Kontrola hlavy vřetene, výpočet ovládacích momentů armatury

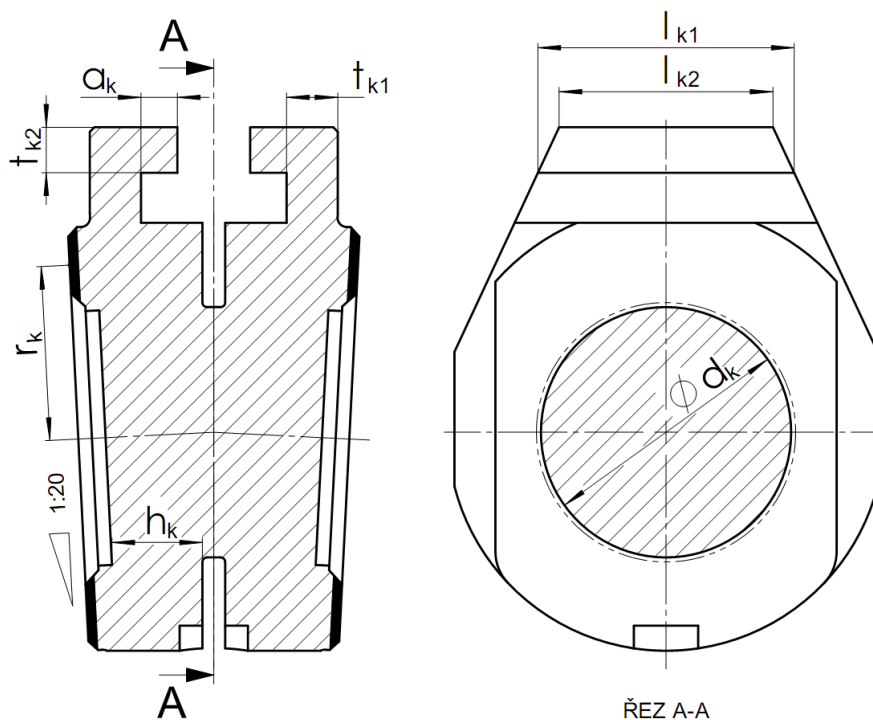
$\tau_v$ [MPa]	$\sigma_{Rz}$ [MPa]	$\sigma_{dh}$ [MPa]	$M_b O$ [Nm]	$M_b Z$ [Nm]
39,1	235,9	51,6	231	162



Navrhované rozměry vřetene **VYHOVUJÍ** dovolenému namáhání. Vypočtený uzavírací moment armatury  $M_b Z = 162 \text{ Nm}$  a otevírací moment  $M_b O = 231 \text{ Nm}$ .

### 3.4 Návrh klínu

Výpočet byl proveden dle RIND, P. *Potrubní armatury v elektrárnách* [2]. Ve výpočtu jsou použity hodnoty klínu zobrazené na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Vstupní návrhové hodnoty klínu

#### Maximální namáhání ve středu klínu

$$\sigma_{ok} = \frac{6 \cdot M_{max}}{h_k^2} \leq 1,5 \cdot \sigma_D \quad (3.26)$$

$$M_{max} = \frac{p_2 \cdot r_k^2}{16} (3 + \mu) \quad (3.27)$$

$$\sigma_{dc} = \frac{P_3}{\frac{\pi \cdot d_k^2}{4}} \leq \sigma_D \quad (3.28)$$

$$P_{kl} = \frac{F_o}{a_k \cdot b_v \cdot 2} \leq P_{D1} \quad (3.29)$$

$$\tau_{k1} = \frac{F_o}{l_{k1} \cdot t_{k1} \cdot 2} \leq \tau_D \quad (3.30)$$

$$\sigma_{k2} = \frac{F_o}{l_{k2} \cdot t_{k2} \cdot 2} \leq \sigma_D \quad (3.31)$$

Tab. 3.12 Vstupní parametry desky klínu, kontrola na ohybové napětí

$\mu$ [-]	$r_k$ [mm]	$h_k$ [mm]	$M_{\max}$ [Nmm]	$\sigma_{ok}$ [MPa]	$\sigma_D$ [MPa]
0.3	37.5	34	10209.4	53	153

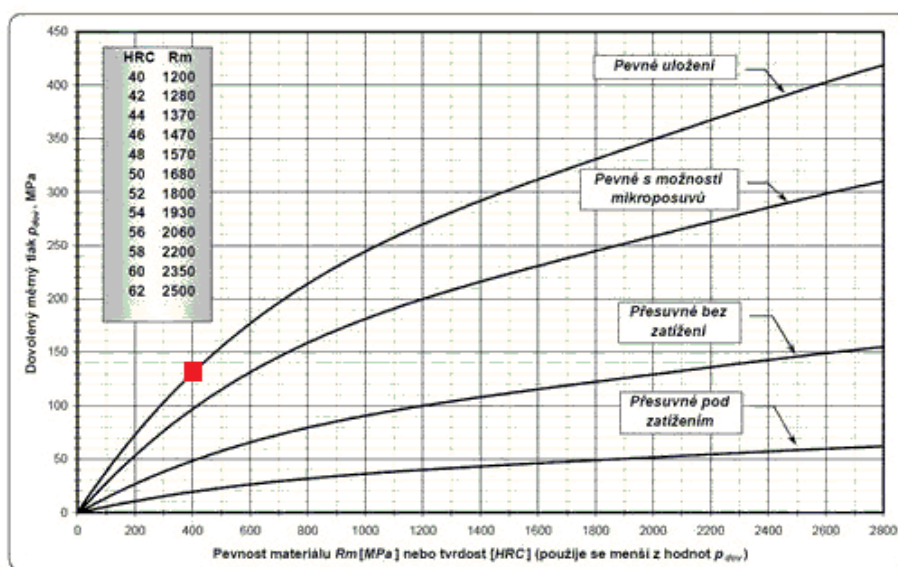
Tab. 3.13 Vstupní parametry klínu na otláčení od vřetene, kontrola

$d_k$ [mm]	$a_k$ [mm]	$b_v$ [mm]	$\sigma_{dc}$ [MPa]	$P_{kl}$ [MPa]
45	6	42	97.8	111.1

Tab. 3.14 Vstupní parametry ramen klínu, kontrola na tah a střih od osové síly

$l_{k1}$ [mm]	$l_{k2}$ [mm]	$t_{k1}$ [mm]	$t_{k2}$ [mm]	$\tau_{k1}$ [MPa]	$\sigma_{k2}$ [MPa]	$\tau_D$ [MPa]
47	56	10	11	59,5	45,4	91,8

V místě styku klínu s vřetenem je kontrolována plocha na dovolený tlak, který je zvolen dle Obr. 3.3 z hodnoty  $R_m$  materiálu 1.0460 a pevného uložení  $P_{D1} = 130$  MPa. Jelikož je zatížení  $P_{kl} = 111.1$  MPa, plocha klínu ve styku s vřetenem a ostatní navržené hodnoty **VYHOVUJÍ**.

Obr. 3.3 Určení dovoleného tlaku na otláčení klínu z  $R_m$  materiálu 1.0460

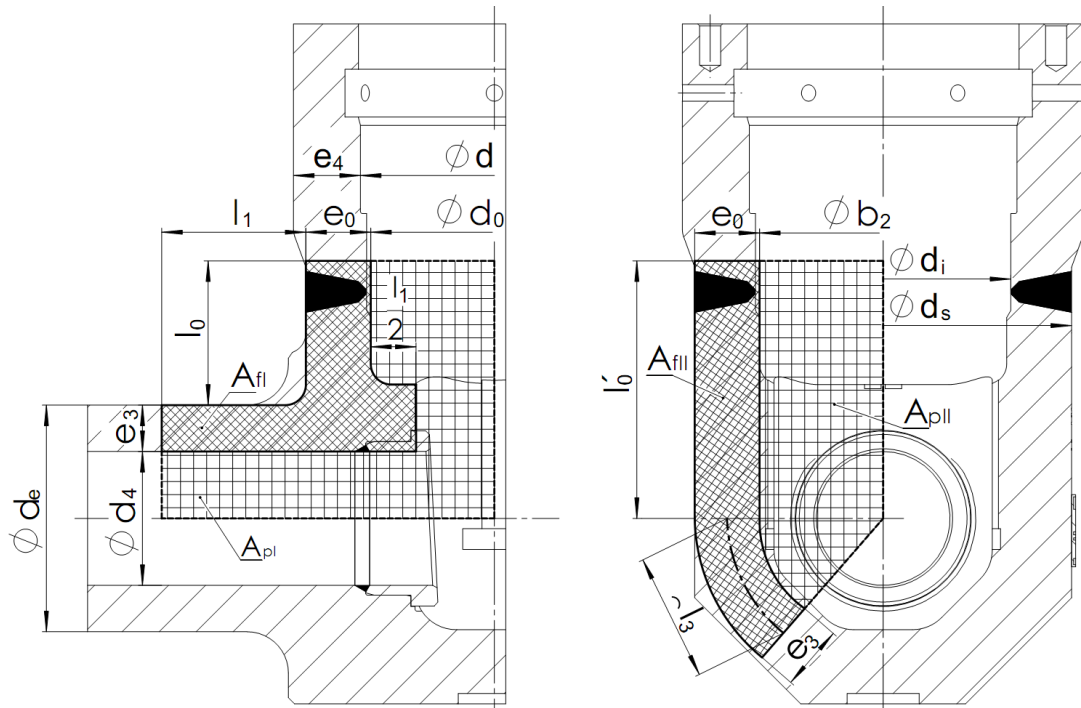
### 3.5 Návrh tělesa

Výpočet byl proveden dle ČSN EN 12516 – 2 [3]. Ve výpočtu jsou použity hodnoty tělesa zobrazené na obr. 3.4.

#### Válcová část průtoku

$$e_c = e_{c0} + c_1 + c_2 \leq e_3 \quad (3.32)$$

$$e_{c0} = \frac{p_z \cdot d_4}{(2 \cdot \sigma_D - p_z)} \quad \text{pro } \frac{d_e}{d_4} < 1,7 \quad (3.33)$$



Obr. 3.4 Vstupní návrhové hodnoty tělesa

Oblast rozsochy

Pro poměr průměrů  $d_4 / d_0 < 1,7$  musí platit pevnostní podmínka pro řez I-I:

$$\sigma_I = p_z \left( \frac{A_{pI}}{A_{fI} \cdot k_c} + \frac{1}{2} \right) \leq \sigma_D \quad (3.34)$$

$$\sigma_{II} = p_z \left( \frac{A_{pII}}{A_{fII} \cdot k_c} + \frac{1}{2} \right) \leq \sigma_D \quad (3.35)$$

$$l_0 = \sqrt{(d_0 + e_0) \cdot e_0} \quad (3.36)$$

$$l_1 = 1,25 \cdot \sqrt{(d_4 + e_3) \cdot e_3} \quad (3.37)$$

$$l'_0 = 1,25 \cdot \sqrt{(b_2 + e_0) \cdot e_0} \quad (3.38)$$

$$l_3 = \sqrt{(b_2 + e_0) \cdot e_0} \quad (3.39)$$

Horní válcová část

$$e_{c2} = e_{c1} + c_1 + c_2 \leq e_4 \quad (3.40)$$

$$e_{c1} = \frac{p_z \cdot d}{(2 \cdot \sigma_D - p_z)} \quad \text{pro } \frac{d_A}{d} < 1,7 \quad (3.41)$$

Kontrola svaru

$$e_s = \frac{p_z \cdot d_i}{(2 \cdot \sigma_D - p_z) \cdot k_c} + c_1 + c_2 \leq e_0 \quad (3.42)$$

$$\sigma_{Rs} = \sqrt{\sigma_{as}^2 + \sigma_{rs}^2} \leq \sigma_D \quad (3.43)$$

$$\sigma_{as} = p_z \cdot \frac{d_0^2}{d_i^2 \cdot k_c} \quad (3.44)$$

$$\sigma_{rs} = \frac{p_z \cdot d_i}{2 \cdot e_0} \quad (3.45)$$

Tab. 3.15 Přidavky materiálů, součinitel svarového spoje

$c_1$ [mm]	$c_2$ [mm]	$k_c$ [-]
1	1	0,85

Tab. 3.16 Vstupní parametry válcové části, výpočet minimální tloušťky stěny  $e_c$ 

$d_e$ [mm]	$d_4$ [mm]	$d_e/d_4$	$e_{c0}$ [mm]	$e_c$ [mm]	$e_3$ [mm]
110	65	1,69	14,7	16,7	22,5

Tab. 3.17 Výpočet pomocných rozměrů rozsochy

$b_2$ [mm]	$d_0$ [mm]	$l'_0$ [mm]	$l_3$ [mm]	$l_0$ [mm]	$l_1$ [mm]
124	124	84,1	67,3	67,3	55,5

Tab. 3.18 Kontrola ploch zatěžovaných tlakem

$A_{pI}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{fI}$ [mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_I$	$A_{pII}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{fII}$ [mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{II}$	$d_4/d_0$	$\sigma_D$ [MPa]
9435	4893	132,9	6891	4456	111,3	0.52	153

Tab. 3.19 Vstupní parametry horní válcové části, výpočet minimální tloušťky  $e_{c2}$ 

$d_A$ [mm]	$d$ [mm]	$d_A/d$	$e_{c1}$ [mm]	$e_{c2}$ [mm]	$e_4$ [mm]
195	130	1,5	28.4	30.4	32.5

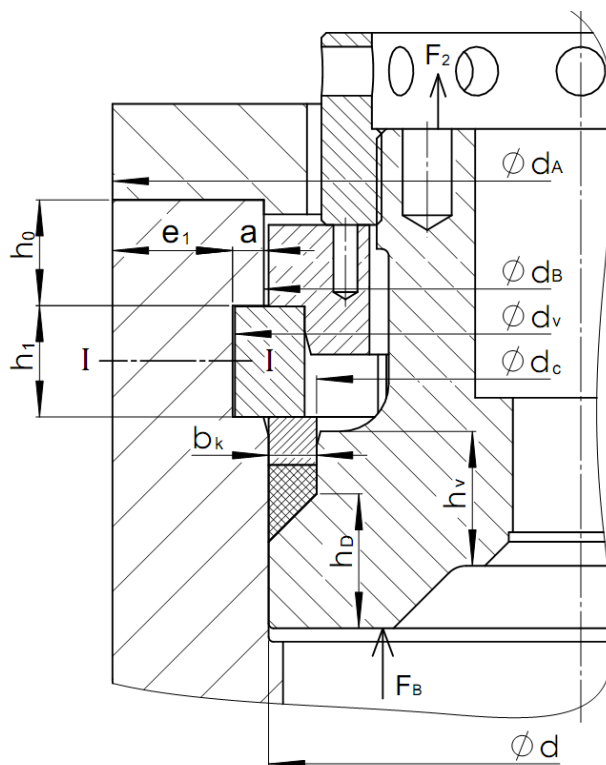
Tab. 3.20 Vstupní parametry svarového spoje, výpočet minimální tloušťky  $e_s$ , kontrola

$d_s$ [mm]	$d_i$ [mm]	$e_s$ [mm]	$e_0$ [mm]	$\sigma_{as}$ [MPa]	$\sigma_{rs}$ [MPa]	$\sigma_{Rs}$ [MPa]
183	124	29.1	29,5	56.5	100.9	115.6

Minimální vypočtená tloušťka stěny válcové části  $e_c = 16,7$  mm. Navržená tloušťka stěny válcové části  $e_3 = 22,5$  mm. Minimální vypočtená tloušťka stěny horní válcové části  $e_{c2} = 30,4$  mm. Navržená tloušťka stěny horní válcové části  $e_4 = 32,5$  mm. Minimální vypočtená tloušťka stěny svarového spoje  $e_s = 29,1$  mm. Navržená tloušťka stěny svarového spoje  $e_0 = 29,5$  mm. Všechny navržené rozměry tělesa **VYHOVUJÍ**.

### 3.6 Návrh tlakového víka a děleného kroužku

Výpočet byl proveden dle ČSN EN 12516 – 2 [3]. Ve výpočtu jsou použity hodnoty tlakového víka a děleného kroužku zobrazené na obr. 3.5.



Obr. 3.5 Vstupní hodnoty tlakového víka a děleného kroužku

#### Stanovení minimálních rozměrů – šířky těsnících ploch

$$a = \frac{F_B}{\pi \cdot d_n \cdot 1,5 \cdot \sigma_D} \quad (3.46)$$

$$b_k = \frac{F_B}{\pi \cdot d_b \cdot 1,5 \cdot \sigma_D} \quad (3.47)$$

$$F_B = p_z \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad (3.48)$$

$$d_n = \frac{(d_v + d_B)}{2} \quad (3.49)$$

$$d_b = \frac{(d + d_c)}{2} \quad (3.50)$$

#### Stanovení minimálních rozměrů – výška vloženého kroužku

$$\max \left( \begin{array}{l} h_1 = \frac{2 \cdot (F_B + F_2)}{\pi \cdot d \cdot \sigma_D} \rightarrow \text{pro smyk} \\ h_1 = 1,38 \cdot \sqrt{\frac{(F_B + F_2) \cdot (d_v - d_c)}{4 \cdot d \cdot \sigma_D}} \rightarrow \text{pro ohyb} \end{array} \right) \quad (3.51)$$

Stanovení minimálních rozměrů – výška usazovacího kroužku

$$\max \left( \begin{array}{l} h_0 = \frac{2 \cdot (F_B + F_2)}{\pi \cdot d_v \cdot \sigma_D} \rightarrow \text{pro smyk} \\ h_0 = 1,38 \cdot \sqrt{\frac{(F_B + F_2) \cdot a}{4 \cdot d_v \cdot \sigma_D}} \rightarrow \text{pro ohyb} \end{array} \right) \quad (3.52)$$

$$a_s = \frac{(d_v - d_B)}{2} \quad (3.53)$$

Stanovení minimálních rozměrů – hloubka těsnícího výstupku

$$\max \left( \begin{array}{l} h_D = \frac{2 \cdot (F_B + F_2)}{\pi \cdot d_c \cdot \sigma_D} \rightarrow \text{pro smyk} \\ h_D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{(F_B + F_2) \cdot b_D}{4 \cdot d_c \cdot \sigma_D}} \rightarrow \text{pro ohyb} \end{array} \right) \quad (3.54)$$

$$b_D = \frac{(d - d_c)}{2} \quad (3.55)$$

Pevnostní podmínka pro řez I-I

$$(F_B + F_2) \left( a_s + \frac{e_1}{2} \right) \leq \frac{\pi}{4} [h_0^2 \cdot (d_A - d_v) + (d_A - e_1)(e_1^2 - e_2^2)] \cdot \sigma_D \quad (3.56)$$

$$e_2 = \frac{F_B + F_2}{\pi \cdot (d_A - e_1) \cdot \sigma_D} \quad (3.57)$$

$$F_2 = p_{min} \cdot \left[ \left( \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) - \left( \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \right) \right] \quad (3.58)$$

Tab. 3.21 Vstupní hodnoty děleného kroužku a tělesa

d [mm]	d <sub>A</sub> [mm]	d <sub>B</sub> [mm]	d <sub>v</sub> [mm]	d <sub>c</sub> [mm]	p <sub>min</sub> [MPa]	σ <sub>D</sub> [MPa]
130	195	132	145	110	10	153

Tab. 3.22 Výpočet minimálních rozměrů a sil potřebných k utěsnění tlakového víka

d <sub>n</sub> [mm]	d <sub>b</sub> [mm]	F <sub>B</sub> [N]	F <sub>2</sub> [N]	a <sub>s</sub> [mm]	a [mm]
138,5	120	637115	37699	6,5	6,4

Tab. 3.23 Výpočet minimálních rozměrů děleného kroužků a tlakového víka

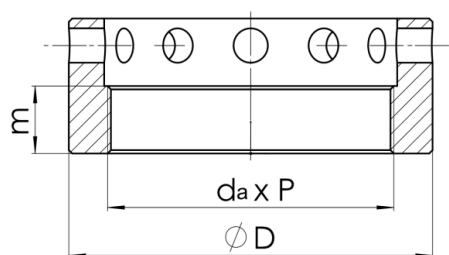
b <sub>D</sub> [mm]	b <sub>k</sub> [mm]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>0</sub> [mm]	h <sub>D</sub> [mm]	e <sub>1</sub> [mm]	e <sub>2</sub> [mm]
10	5,6	20,2	18,2	24	25	7,8

Minimální vypočtená velikost zápichu  $a = 6,4$  mm. Navržená velikost zápichu  $a_s = 6,5$  mm. Minimální vypočtená šířka těsnění  $b_k = 5,6$  mm. Navržená šířka těsnění  $b_D = 10$  mm. Minimální vypočtená výška děleného kroužku  $h_1 = 20,2$  mm. Navržená výška

děleného kroužku  $h_1 = 23$  mm. Minimální vypočtená výška nad opěrným kroužkem  $h_0 = 18,2$  mm. Navržená výška nad opěrným kroužkem  $h_0 = 22$  mm. Minimální vypočtená výška těsnícího výstupku víka  $h_D = 24$  mm. Navržená výška těsnícího výstupku  $h_D = 28$  mm. Všechny navržené rozměry tělesa **VYHOVUJÍ**.

### 3.7 Návrh matice

Výpočet byl proveden dle KTA 3201.2 [4]. Ve výpočtu jsou použity hodnoty matice zobrazené na obr. 3.6.



Obr. 3.6 Vstupní hodnoty matice

#### Kontrola závitu

$$\sigma_n = \frac{F_2}{\min(S_u; S_n)} \leq \sigma_D \quad (3.59)$$

$$S_u = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \quad (3.60)$$

$$S_n = \frac{\pi \cdot (d_a^2 - d_1^2) \cdot m}{4 \cdot P} \quad (3.61)$$

$$\tau_m = \frac{F_2}{n \cdot \pi \cdot d_2 \cdot m} \leq \tau_D \quad (3.62)$$

#### Utahovací moment matice tlakového víka

$$M_u = \frac{F_2}{n \cdot 1000} \cdot \left\{ 0,16 \cdot P + f_m \cdot \left[ 0,58 \cdot d_2 + \left( \frac{D_1 + D_s}{4} \right) \right] \right\} \quad (3.63)$$

Tab. 3.24 Vstupní hodnoty matice

$d_a$ [mm]	$P$ [mm]	$m$ [mm]	$n$ [-]	$d_1$ [mm]	$d_2$ [mm]	$d_3$ [mm]	$f_m$ [-]
85	2	20	1	82,835	83,701	82,546	0,14

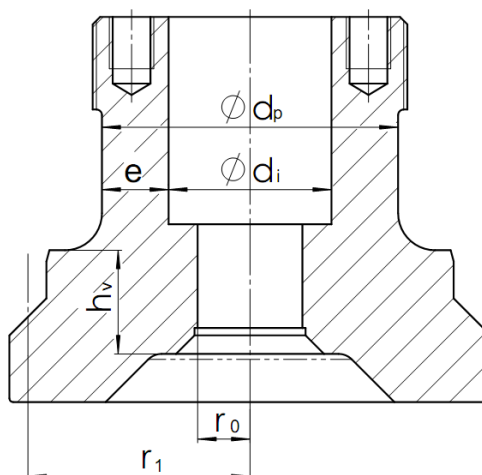
Tab. 3.25 Kontrola závitu a výpočet utahovacího momentu

$D_s$ [mm]	$S_u$ [mm <sup>2</sup> ]	$S_n$ [mm <sup>2</sup> ]	$D_1$ [mm]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau_m$ [MPa]	$\sigma_D$ [MPa]	$M_u$ [Nm]
106	5351,6	2853,9	87	13,2	7,2	153	523

Navržená matice M85x2 s výškou závitu  $m = 20$  mm **VYHOVUJE**. Vypočtený utahovací moment  $M_u = 523$  Nm.

### 3.8 Návrh tloušťky stěn tlakového víka

Výpočet byl proveden dle ČSN EN 12516 – 2 [3]. Ve výpočtu jsou použity hodnoty tlakového víka zobrazené na obr. 3.7.



Obr. 3.7 Vstupní hodnoty tlakového víka

$$\sigma_o = \frac{6 \cdot M_t}{h_v^2} \leq \sigma_D \quad (3.64)$$

$$M_t = \frac{p_z}{8} \left[ \frac{(1 - \mu^2) \cdot (r_1^4 - r_0^4 - 4 \cdot r_1^2 \cdot r_0^2 \cdot \ln \frac{r_1}{r_0})}{r_1^2 \cdot (1 - \mu) + r_0^2 \cdot (1 + \mu)} \right] \quad (3.65)$$

Tloušťka stěny pod ucpávkou

$$e_{min} = \frac{p_z \cdot d_i}{(2 \cdot \sigma_D - p_z)} + c_1 + c_2 \leq e \quad (3.66)$$

$$e = \frac{d_p - d_i}{2} \quad (3.67)$$

Tab. 3.26 Vstupní hodnoty tlakového víka, kontrola

$h_v$ [mm]	$r_1$ [mm]	$r_0$ [mm]	$M_t$ [Nmm]	$\sigma_o$ [MPa]	$\sigma_D$ [MPa]
26	60	14,2	17142,5	152,2	153

Tab. 3.27 Výpočet minimální tloušťky stěny v ucpávkovém prostoru  $e_{min}$

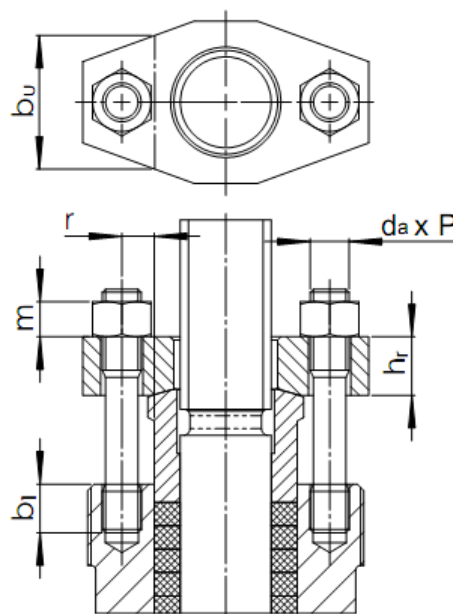
$d_i$ [mm]	$d_p$ [mm]	$e$ [mm]	$e_{min}$ [mm]
44	80	18	11,6



Minimální vypočtená velikost stěny ucpávky  $e_{\min} = 11,6$  mm. Navržená velikost stěny ucpávky  $e = 6,5$  mm. Vypočtené ohybové napětí na víku je menší než dovolené ohybové napětí. Rozměry tlakového víka **VYHOVUJÍ**.

### 3.9 Návrh příruby a šroubů ucpávky

Výpočet byl proveden dle KTA 3201.2 [4] a dle RIND, P. *Potrubní armatury v elektrárnách* [2]. Ve výpočtu jsou použity hodnoty příruby, šroubů ucpávky a matic zobrazené na obr. 3.8.



Obr. 3.8 Vstupní hodnoty příruby a šroubů ucpávky

#### Příruba ucpávky

$$\sigma = \frac{\frac{F_{sb}}{2} \cdot r}{\frac{h_r^2 \cdot b_u}{6}} \leq \sigma_D \quad (3.68)$$

#### Šrouby a matice ucpávky

$$\sigma_n = \frac{\frac{F_{sb}}{n}}{\min(S_u; S_n)} \leq \sigma_D \quad (3.69)$$

$$S_u = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \quad (3.70)$$

$$S_n = \frac{\pi \cdot (d_a^2 - d_1^2) \cdot m}{4 \cdot P} \quad (3.71)$$

$$\tau_m = \frac{\frac{F_{sb}}{n}}{n \cdot \pi \cdot d_2 \cdot m} \leq \tau_D \quad (3.72)$$

$$\tau_z = \frac{\frac{F_{sb}}{n}}{n \cdot \pi \cdot d_2 \cdot b_1} \leq \tau_D \quad (3.73)$$

Utahovací moment šroubů ucpávky

$$M_u = \frac{F_{sb}}{n} \cdot \left\{ 0,16 \cdot P + f_c \cdot \left[ 0,58 \cdot d_2 + \left( \frac{D_2 + D_v}{4} \right) \right] \right\} \quad (3.74)$$

Tab. 3.28 Vstupní hodnoty příruby ucpávky, kontrola

$F_{sb}$ [N]	$r$ [mm]	$b_u$ [mm]	$h_r$ [mm]	$\sigma_{ou}$ [MPa]	$\sigma_D$ [MPa]	$\tau_D$ [MPa]
7522,7	10	50	18	13,9	153	91,8

Tab. 3.29 Vstupní hodnoty šroubů ucpávky

$d_a$ [mm]	$P$ [mm]	$m$ [mm]	$n$ [-]	$d_1$ [mm]	$d_2$ [mm]	$d_3$ [mm]	$f_m$ [-]	$b_1$ [mm]
12	1,75	10	2	10,106	10,863	9,853	0,14	15

Tab. 3.30 Kontrola šroubů ucpávky a výpočet utahovacího momentu

$D_s$ [mm]	$S_u$ [mm <sup>2</sup> ]	$S_n$ [mm <sup>2</sup> ]	$D_1$ [mm]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau_m$ [MPa]	$\tau_z$ [MPa]	$M_u$ [Nm]
19	76,2	187,9	14	49,3	11	7,3	9

Dva šrouby M12x1,75 DIN939 a příruba ucpávky **VYHOVUJÍ** konstrukční podmínce.

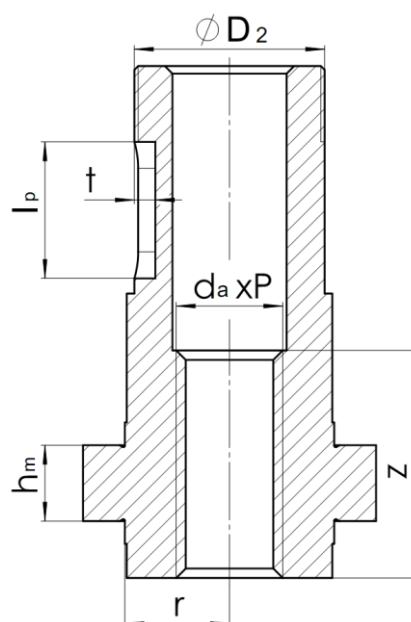
### 3.10 Návrh vřetenové matice

Výpočet šroubů a matic byl proveden dle [10]. Ve výpočtu jsou použity hodnoty vřetenové matice zobrazené na obr. 3.9.

Kontrola závitu

$$P_z = \frac{F_o}{\frac{\pi \cdot (d_a^2 - d_1^2)}{4} \cdot z} \leq P_D \quad (3.75)$$

$$\tau_m = \frac{F_o}{\pi \cdot d_a \cdot \left( (d_2 - d_a) \cdot tg\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot z \right)} \leq \tau_D \quad (3.76)$$



Obr. 3.9 Vstupní hodnoty vřetenové matice

Kontrola kroužku mezi ložisky

$$\tau_L = \frac{F_o}{2\pi \cdot r_4 \cdot h_m} \leq \tau_D \quad (3.77)$$

Tab. 3.31 Vstupní hodnoty vřetenové matice, kontrola

$P_D$ [MPa]	$d_a$ [mm]	$d_2$ [mm]	$d_1$ [mm]	$z$ [-]	$P_z$ [MPa]	$\tau_m$ [MPa]
25	28	25,5	23	14	20	24,8

Tab. 3.32 Kontrola vřetenové matice na střih v usazení ložisek

$r_4$ [mm]	$h_m$ [mm]	$\tau_L$ [MPa]
27,5	20	16,2

Navrhované rozměry vřetenové matice **VYHOVUJÍ** dovolenému namáhání.

**3.11 Návrh závitového kroužku**

Výpočet byl proveden dle KTA 3201.2 [4]. Ve výpočtu jsou použity hodnoty matice zobrazené na obr. 3.10.

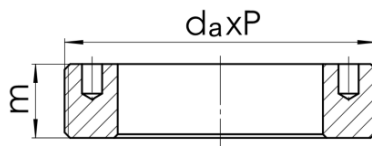
Kontrola závitu

$$\sigma_n = \frac{F_o}{\min(S_u; S_n)} \leq \sigma_D \quad (3.78)$$

$$S_u = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \quad (3.79)$$

$$S_n = \frac{\pi \cdot (d_a^2 - d_1^2) \cdot m}{4 \cdot P} \quad (3.80)$$

$$\tau_m = \frac{F_o}{\pi \cdot d_2 \cdot m} \leq \tau_D \quad (3.81)$$



Obr. 3.10 Vstupní hodnoty šroubení

Tab. 3.33 Vstupní hodnoty závitového kroužku

$d_a$ [mm]	$P$ [mm]	$m$ [mm]	$d_1$ [mm]	$d_2$ [mm]	$d_3$ [mm]
85	2	17	82,835	83,701	82,546

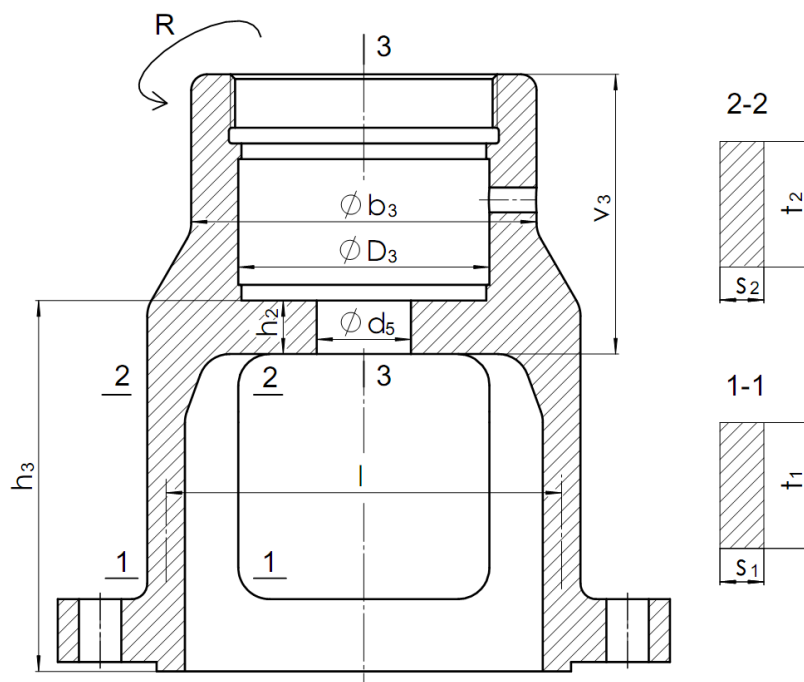
Tab. 3.34 Kontrola závitového kroužku

$S_u$ [mm <sup>2</sup> ]	$S_n$ [mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau_m$ [MPa]
5351,6	2425,8	23,07	12,52

Navržená matice M85x2 s výškou závitu  $m = 17$  mm **VYHOVUJE**.

### 3.12 Návrh třmene

Výpočet byl proveden dle RIND, P. *Potrubní armatury v elektrárnách* [2]. Ve výpočtu jsou použity hodnoty třmene zobrazené na obr. 3.11.



Obr. 3.11 Vstupní hodnoty třmene

Kontrola únosnosti hlavy třmene

$$\sigma_{Rn} = \sqrt{\sigma_{on}^2 + 4 \cdot \tau_n^2} \leq \sigma_D \quad (3.82)$$

$$\sigma_{dn} = \frac{4 \cdot F_o}{\pi \cdot (D_3^2 - d_5^2)} \leq \sigma_D \quad (3.83)$$

$$\sigma_{on} = \frac{6 \cdot M_r}{h_2^2} \quad (3.84)$$

$$\tau_n = \frac{F_o}{\pi \cdot D_3 \cdot h_2} \quad (3.85)$$

$$M_r = \frac{F_o}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{2 \cdot r_3^2 \cdot (1 + \mu) \cdot \ln \frac{R}{r_3} + (1 - \mu) \cdot (R^2 - r_3^2)}{R^2 \cdot (1 - \mu) + r_3^2 \cdot (1 + \mu)} \quad (3.86)$$

Kontrola ramen třmene• řez 3-3

$$\sigma_{o3} = \frac{M_3}{W_3} \leq \sigma_D \quad (3.87)$$

$$M_3 = \frac{F_o \cdot l}{4} - M \quad (3.88)$$

$$M = \frac{F_o \cdot l}{8} \cdot \frac{1}{1 + \frac{h_3 \cdot I_3}{2 \cdot l \cdot I_2}} \quad (3.89)$$

$$I_3 = \frac{(b_3 - D_3) \cdot v_3^3}{12} \quad (3.90)$$

$$W_3 = \frac{(b_3 - D_3) \cdot v_3^2}{6} \quad (3.92)$$

$$R = \frac{2 \cdot M_b}{l} \quad (3.93)$$

• řez 2-2

$$\sigma_{R2} = \sigma_{t2} + \sigma_{o2} \leq \sigma_D \quad (3.94)$$

$$\sigma_{t2} = \frac{F_o}{2 \cdot s_2 \cdot t_2} \quad (3.95)$$

$$\sigma_{o2} = \frac{M}{W_2} \quad (3.96)$$

$$W_2 = \frac{s_2^2 \cdot t_2}{6} \quad (3.97)$$

$$I_2 = \frac{t_2 \cdot s_2^3}{12} \quad (3.98)$$

• **řez 1-1**

$$\sigma_{R1} = \sigma_{t1} + \sigma_{o1} + \sigma'_o \leq \sigma_D \quad (3.99)$$

$$\sigma_{t1} = \frac{F_o}{2 \cdot s_1 \cdot t_1} \quad (3.100)$$

$$\sigma_{o1} = \frac{M}{W_1} \quad (3.101)$$

$$\sigma'_o = \frac{M'_o}{W'_1} \quad (3.102)$$

$$M'_o = R_A \cdot h_3 \quad (3.103)$$

$$W_1 = \frac{s_1^2 \cdot t_1}{6} \quad (3.104)$$

$$W'_1 = \frac{s_1 \cdot t_1^2}{6} \quad (3.105)$$

Tab. 3.35 Vstupní hodnoty náboje třmene

D <sub>3</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]	d <sub>5</sub> [mm]
80	17	30

Tab. 3.36 Kontrola náboje třmene

M <sub>r</sub> [Nmm]	σ <sub>dn</sub> [MPa]	σ <sub>on</sub> [mm]	σ <sub>Rn</sub> [mm]	τ <sub>n</sub>
4844,4	13	100,6	103,9	13,1

Tab. 3.37 Vstupní hodnoty třmene v řezu 1-1; 2-2; 3-3

t <sub>1</sub> [mm]	t <sub>2</sub> [mm]	s <sub>1</sub> [mm]	s <sub>2</sub> [mm]	l [mm]	h <sub>3</sub> [mm]	b <sub>3</sub> [mm]	v <sub>3</sub> [mm]
108	108	12	12	126	120	110	89

Tab. 3.38 Kontrola ramen třmene v řezu 3-3

I <sub>3</sub> [mm <sup>4</sup> ]	W <sub>3</sub> [mm <sup>3</sup> ]	M [Nmm]	M <sub>3</sub> [Nmm]	σ <sub>o3</sub> [MPa]	R [N]
1762423	39605	16038,8	1747075	44,1	3671,9

Tab. 3.39 Kontrola ramen třmene v řezu 2-2

$\sigma_{R2}$ [MPa]	$\sigma_{t2}$ [MPa]	$\sigma_{o2}$ [MPa]	$W_2$ [mm <sup>3</sup> ]	$I_2$ [mm <sup>4</sup> ]
27,8	21,6	6,2	2592	15552

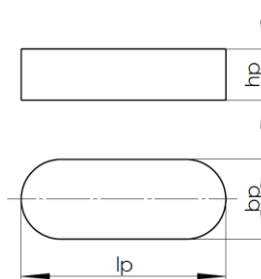
Tab. 3.40 Kontrola ramen třmene v řezu 1-1

$\sigma_{R1}$ [MPa]	$\sigma_{t1}$ [MPa]	$\sigma_{o1}$ [MPa]	$\sigma'_{o1}$ [MPa]	$M'_o$ [Nmm]	$W_1$ [mm <sup>3</sup> ]	$W'_1$ [mm <sup>3</sup> ]
46,7	21,6	6,2	18,9	440622	2592	23328

Všechny navržené rozměry třmene **VYHOVUJÍ** konstrukční podmínce.

### 3.13 Návrh pera

Výpočet pera byl proveden dle [10]. Ve výpočtu jsou použity hodnoty pera zobrazené na obr. 3.12.



Obr. 3.12 Vstupní parametry pera

$$\tau_{sp} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot M_b O}{b_p \cdot D_2 \cdot (l_p - b_p)} \leq \sigma_D \quad (3.106)$$

$$\sigma_{d1} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot M_b O}{t \cdot D_2 \cdot (l_p - b_p)} \leq \sigma_D \quad (3.107)$$

$$\sigma_{d2} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot M_b O}{t_3 \cdot D_2 \cdot (l_p - b_p)} \leq \sigma_D \quad (3.108)$$

Tab. 3.41 Vstupní hodnoty pera

$b_p$ [mm]	$h_p$ [mm]	$l_p$ [mm]	$t$ [mm]	$t_3$ [mm]	$D_2$ [mm]
14	9	36	5,5	3,5	50

Tab. 3.42 Kontrola pera na střih, uložení ve vřetenové matici, uložení v ručním kole

$\tau_{sp}$ [MPa]	$\sigma_{d1}$ [MPa]	$\sigma_{d2}$ [MPa]
30	82,835	120,2

Vypočtená napětí zatěžující pero a jeho uložení jsou nižší než dovolená napětí. Pero těsné 14e7 x 9 x 36 ČSN 02 2562 **VYHOVUJE**.

### 3.14 Návrh šroubů spojující těleso úplné – třmen

Výpočet šroubů a matic byl proveden dle [10].

#### Šrouby a matice

$$\sigma_n = \frac{\frac{F_o}{n}}{\min(S_u; S_n)} \leq \sigma_D \quad (3.109)$$

$$S_u = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \quad (3.110)$$

$$S_n = \frac{\pi \cdot (d_a^2 - d_1^2) \cdot m}{4 \cdot P} \quad (3.111)$$

$$\tau_m = \frac{\frac{F_o}{n}}{n \cdot \pi \cdot d_2 \cdot m} \leq \tau_D \quad (3.112)$$

$$\tau_z = \frac{\frac{F_o}{n}}{n \cdot \pi \cdot d_2 \cdot b_1} \leq \tau_D \quad (3.113)$$

#### Utahovací moment šroubů

$$M_u = \frac{F_o}{n} \cdot \left\{ 0,16 \cdot P + f_c \cdot \left[ 0,58 \cdot d_2 + \left( \frac{D_2 + D_v}{4} \right) \right] \right\} \quad (3.114)$$

Tab. 3.43 Vstupní parametry šroubů a matic

$d_a$ [mm]	$P$ [mm]	$m$ [mm]	$n$ [-]	$d_1$ [mm]	$d_2$ [mm]	$d_3$ [mm]	$f_m$ [-]	$b_1$ [mm]
12	1,75	10	6	10,106	10,863	9,853	0,14	15

Tab. 3.44 Kontrola šroubů a matic, výpočet utahovacího momentu

$D_s$ [mm]	$S_u$ [mm <sup>2</sup> ]	$S_n$ [mm <sup>2</sup> ]	$D_1$ [mm]	$\sigma_n$ [MPa]	$\tau_m$ [MPa]	$\tau_z$ [MPa]	$M_u$ [Nm]
19	76,2	187,9	14	122,3	27,3	18,2	22

Šest šroubů M12x1,75 DIN939 **VYHOVUJÍ** konstrukční podmínce. Utahovací moment matic  $M_u = 22$  Nm.

## 4 Kontrolní výpočet

Posouzení statické pevnosti kovaného šoupátka bylo provedeno v souladu s požadavky normy ČSN EN 13445-3 [5]. Výpočty teplotních polí, deformací a napětí byly provedeny metodou konečných prvků programem SolidWorks Simulation Professional 2011.



## 4.1 Mezní stavy

### Nominální dovolené napětí

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{R_m^T}{2,6}; \frac{R_{p0,2}^T}{1,5} \right\} \quad (4.1)$$

### Kategorie napětí

$$\text{Redukované membránové napětí} \quad (\sigma)_1 = P_m \quad (4.2)$$

Redukované napětí stanovené součtem komponent prostých nebo místních membránových a prostých ohybových napětí.

$$(\sigma)_2 = [P_m \vee P_L] + P_b \quad (4.3)$$

## 4.2 Zatížení výpočtového modelu

### Přetlak a teplota kapaliny

Tlaková zkouška TZ:	48MPa	20°C
Normální provozní podmínky NPP1:	32MPa	20°C
Normální provozní podmínky NPP2:	10,2MPa	450°C

## 4.3 Limitní hodnoty

Velikosti jednotlivých napětí získaných při pevnostní analýze musí být menší než následující dovolené stavy. Tyto hodnoty budou uvedené v Tab. 4.1.

$$\text{NPP} \quad (\sigma)_1 \leq [\sigma] \quad (4.4)$$

$$(\sigma)_2 \leq 1,5 \cdot [\sigma] \quad (4.5)$$

$$\text{TZ} \quad (\sigma)_1 \leq 1,35 \cdot [\sigma] \quad (4.6)$$

$$(\sigma)_2 \leq 1,75 \cdot [\sigma] \quad (4.7)$$

Průměrné napětí v kontaktních oblastech těles nesmí překročit  $1,5 \cdot R_{p0,2}^T$ . Pokud vzdálenost zatížené oblasti k volné hraně převyšuje rozměr této zatížené oblasti, může být limitní hodnota navýšena o 25%.

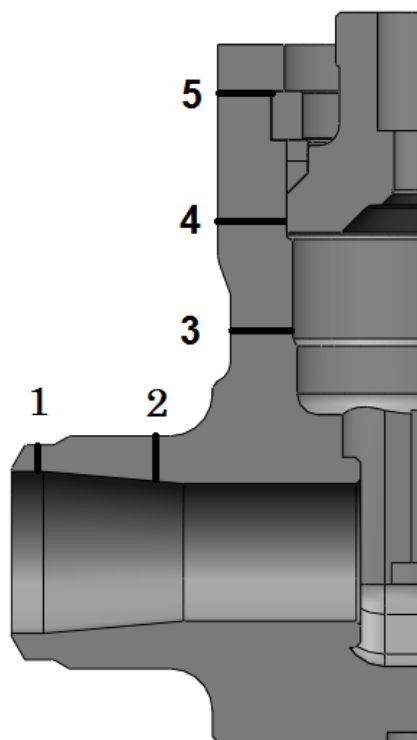
Tab. 4.1 Limity pro jednotlivá napětí pro materiál 1.0460

ZS	TZ	NPP1	NPP2
t [°C]	20	20	450
Rp <sub>0,2</sub> [MPa]	230	230	70
Rm [MPa]	400	400	
[σ]	153,3	153,3	46,7
TZ			
(σ) <sub>1</sub>	207		
(σ) <sub>2</sub>	268,3		
NPP			
(σ) <sub>1</sub>		153,3	46,7
(σ) <sub>2</sub>		230	70

Fyzikální a mechanické charakteristiky materiálů pro kontrolní výpočet jsou převzaty z Tab. 3.1.

#### 4.4 Analyzované oblasti

Na následujícím obrázku jsou znázorněny kritická místa, která je potřeba kontrolovat dle předchozích kritérií.

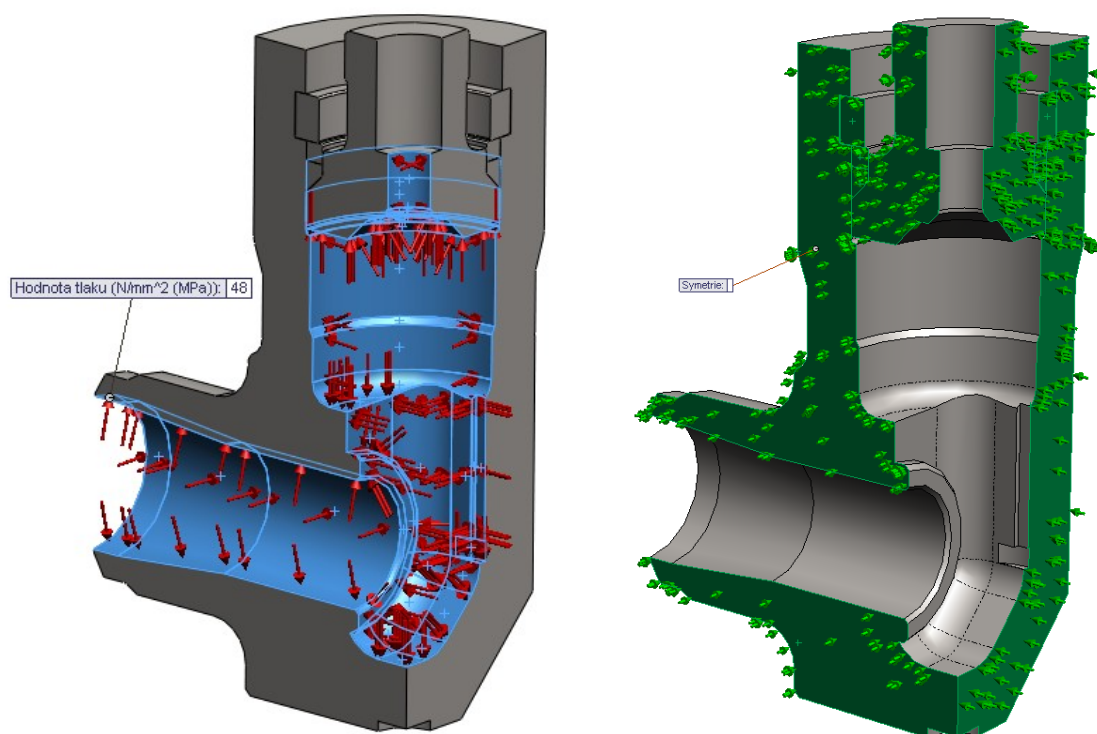


Obr. 4.1 Diagnostikové oblasti

1. Nátrubek
2. Změna průměru nátrubku
3. Svar mezi tělesem a nátrubkem
4. Zúžení v oblasti víka
5. Drážka pro dělený kroužek

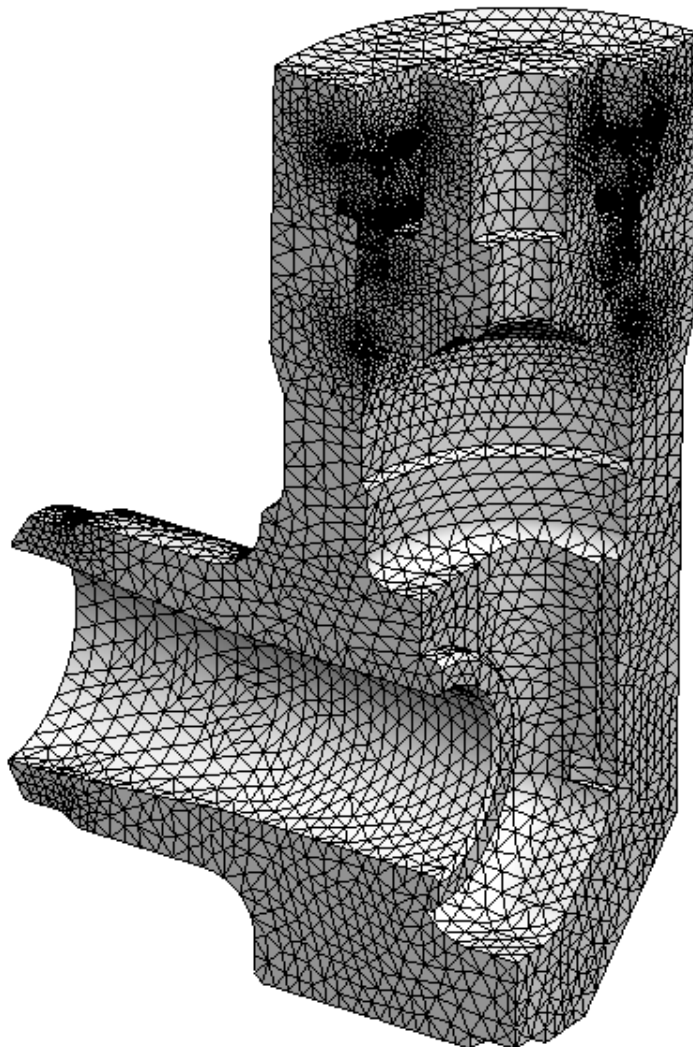
#### 4.5 Výpočtové modely

Pevnostní výpočet byl proveden na čtvrté části objemového modelu kovaného šoupátka, protože kované šoupátko má dvě roviny symetrie. Řezem byla aplikována okrajová podmínka symetrie. Toto řešení výrazně zmenšilo výpočetní dobu a náročnost na paměť počítače. Mezi díly jsou aplikovány kontakty „žádný průnik“ se součinitelem tření 0,2 (ocel na ocel). SolidWorks Simulation používá čtyřbokou nestrukturovanou síť typu TBE. Okrajové podmínky byly na tělesa zadány tak aby odpovídaly reálnému zatížení. Pro normální provozní podmínky NPP2 je kromě zmíněných okrajových podmínek těleso rovnoměrně zahřáto na teplotu 450°C. Rovnoměrné ohřátí bylo zavedeno jako předpoklad plynoucí z použití a umístění daných armatur. MKP model byl pro všechny vypočítané stavy stejný s rozdílnou aplikací okrajových podmínek.



Obr. 4.2 Okrajové podmínky aplikované na těleso armatury

Síť byla vytvořena pomocí tetrahedryckých elementů. Oblast vzniku diskontinuit má dostatečně jemnou síť konečných prvků tak aby došlo k projevům, ale ne k nárůstům geometrické singularity nebo změny tuhosti vlivem nerovnoměrnosti elementů.



Obr. 4.3 Síť konečných prvků kovaného šoupátka

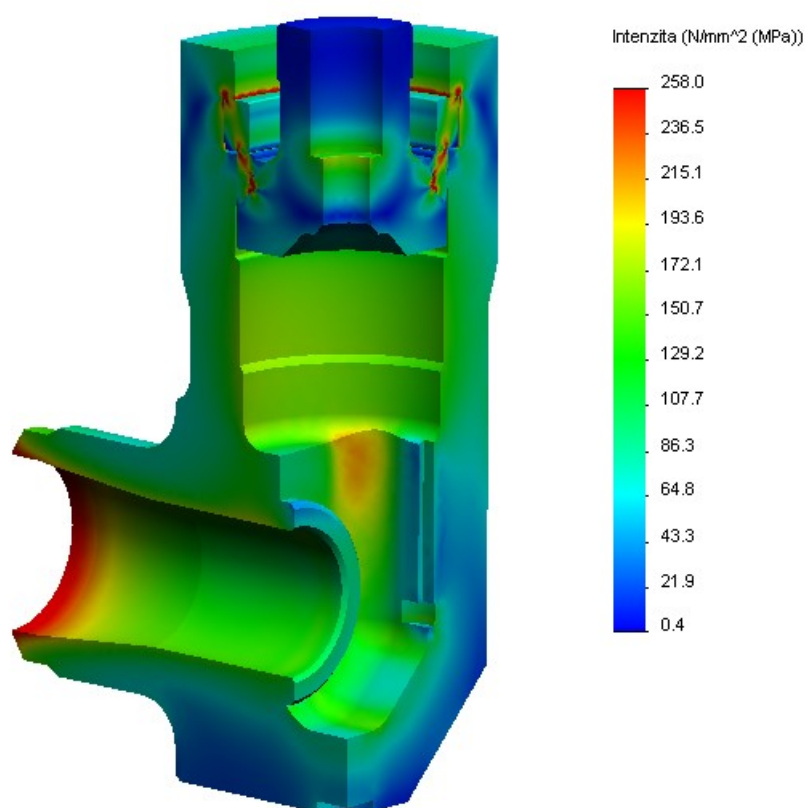
## 4.6 Výsledky

Pevnostní analýza byla provedena dle normy ČSN EN 13445-3 [5]. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.2 společně s limitními hodnotami. Hodnoty napětí kategorií  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  byly získány linearizací přes příslušný průřez ve vybrané oblasti, neobsahují tedy přírůstek napětí vlivem koncentrace. Napětí v tělese, tlakovém víku, děleném kroužků kovaného šoupátka DN80/65 PN320 vypočtená ve vybraných zatěžovacích stavech jsou zobrazena na obrázcích 4.4 – 4.6. Na obrázcích je znázorněno celkové redukované napětí dle Tresca  $\sigma_{INT}$ .

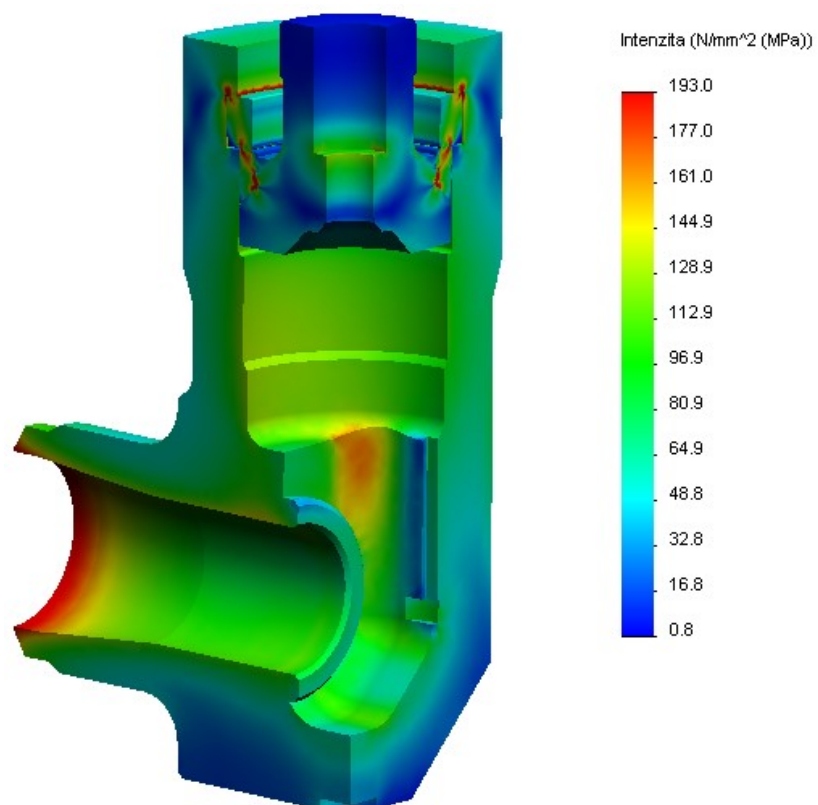
Tab. 4.2 Výsledky pevnostní analýzy

Oblast		TZ	NPP1	NPP2	Status bezpečnosti
DOV	$(\sigma)_1$	207	153,3	46,7	
	$(\sigma)_2$	268,3	230	70	
DOV*	$(\sigma)_1$	175,9	130,3	39,7	
	$(\sigma)_2$	228,1	195,5	59,5	
1	$(\sigma)_1$	172	124,6	37,1	1,15
	$(\sigma)_2$	231,8	166,9	47,3	<b>VYHOVUJE</b>
2	$(\sigma)_1$	95,7	70,4	21,9	1,78
	$(\sigma)_2$	151,1	112,5	27,9	<b>VYHOVUJE</b>
3*	$(\sigma)_1$	115,9	85,9	30,6	1,29
	$(\sigma)_2$	157,6	120,3	34,7	<b>VYHOVUJE</b>
4	$(\sigma)_1$	88,9	63,8	25,2	1,85
	$(\sigma)_2$	121,2	89,6	26,1	<b>VYHOVUJE</b>
5	$(\sigma)_1$	34,1	24,1	15,2	1,8
	$(\sigma)_2$	148,7	106,5	29,3	<b>VYHOVUJE</b>

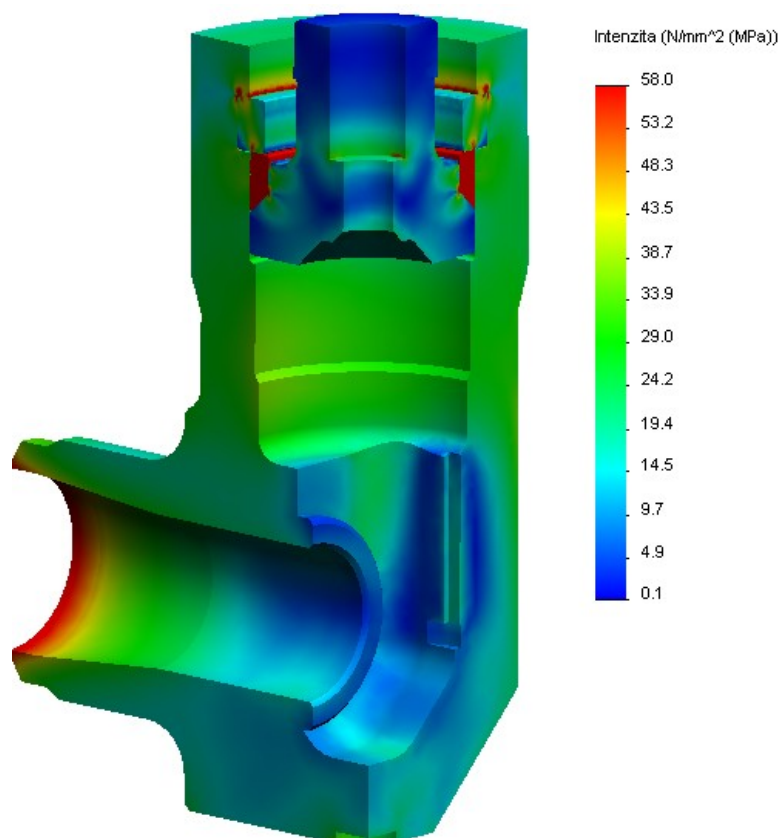
\* Místo 3 je oblast svaru. Součinitel bezpečnosti pro svar byl zvolen v závislosti na technologickém postupu, na hodnotu 0,85. Dovolené napětí svaru DOV\* bylo o tuto hodnotu sníženo.



Obr. 4.4 Redukované napětí v zatěžovacím stavu TZ



Obr. 4.5 Redukované napětí v zatěžovacím stavu NPP1



Obr. 4.6 Redukované napětí v zatěžovacím stavu NPP2

## 5 Výpočet tlakové ztráty

### 5.1 Popis tlakové ztráty

Potrubní trasa (potrubní síť) nebývá přímočará a může být tvořena dalšími potrubními prvky (odbočky různých tvarů, oblouky, zúžení), armaturami, filtry, měřidly a dalšími průtočnými prvky. V těchto částech potrubních tras vzniká tlaková ztráta podobně jako v přímém potrubí. Tyto tlakové ztráty bývají mnohem větší než na rovném úseku potrubí vzhledem k tomu, že při průtoku těmito částmi dochází i ke změně tvaru průtočného kanálu, směru proudění a často i ke škrcení. Tlaková ztráta armatury je důležitou součástí pro návrh potrubní trasy. Nejpresnější zjištění tlakové ztráty je z měření, ale pro konstrukční návrh je dostačující využití moderních programů (SolidWorks Flow Simulation 2011)

### 5.2 Výpočet tlakové ztráty

Výpočet byl proveden na objemového modelu kovaného šoupátka s použitím nátrubků. Dle NP-068-05 [9] se doporučuje zajistit přímou část potrubí před i za armaturou o délce nejméně  $5 \cdot DN$ . Ze zkušeností výpočtů víme, že je dostačující pro výpočet použití  $1 \cdot DN$ , kdy nedojde ke změně výsledků a výpočet je kvůli menšímu počtu elementů rychlejší. Ztrátový součinitel je vypočtený z hodnoty  $K_v$  (průtokový součinitel vody o teplotě  $15^\circ\text{C}$  při rozdílu tlaku na vstupu a výstupu 1 bar), která je vypočtena v programu SolidWorks Flow Simulation 2011. Podmínka ztrátového součinitele  $\zeta \leq 1,0$  pro  $DN > 200$  je zvolen z NP-068-05 [9].

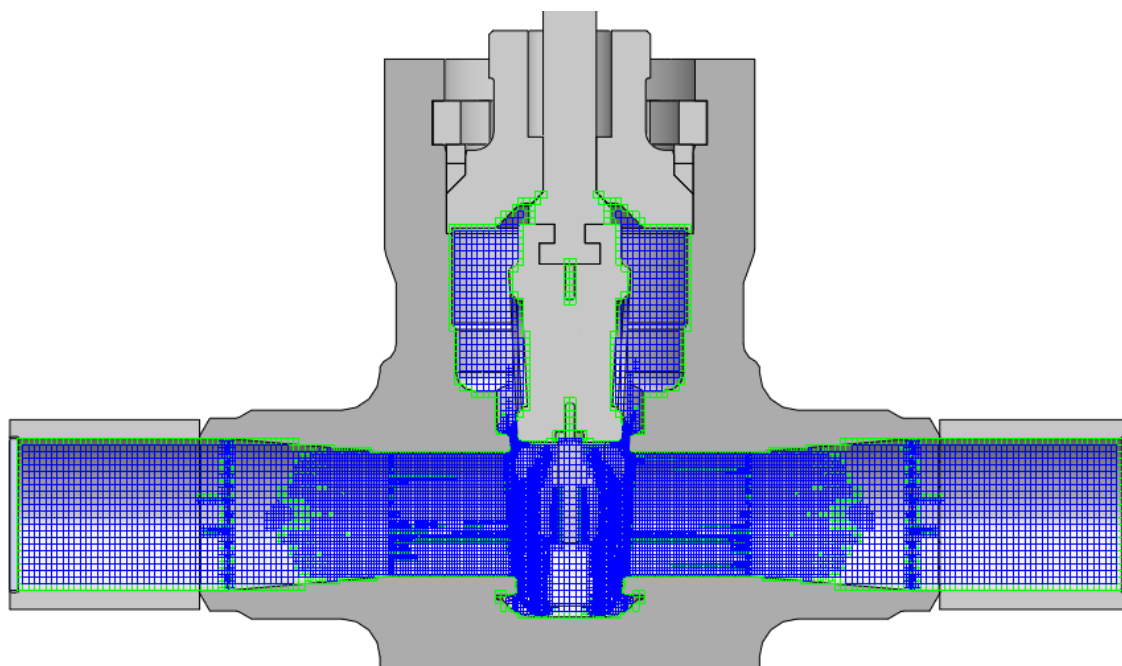
$$K_v = 377,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Výpočet tlakové ztráty  $\zeta$  armatury

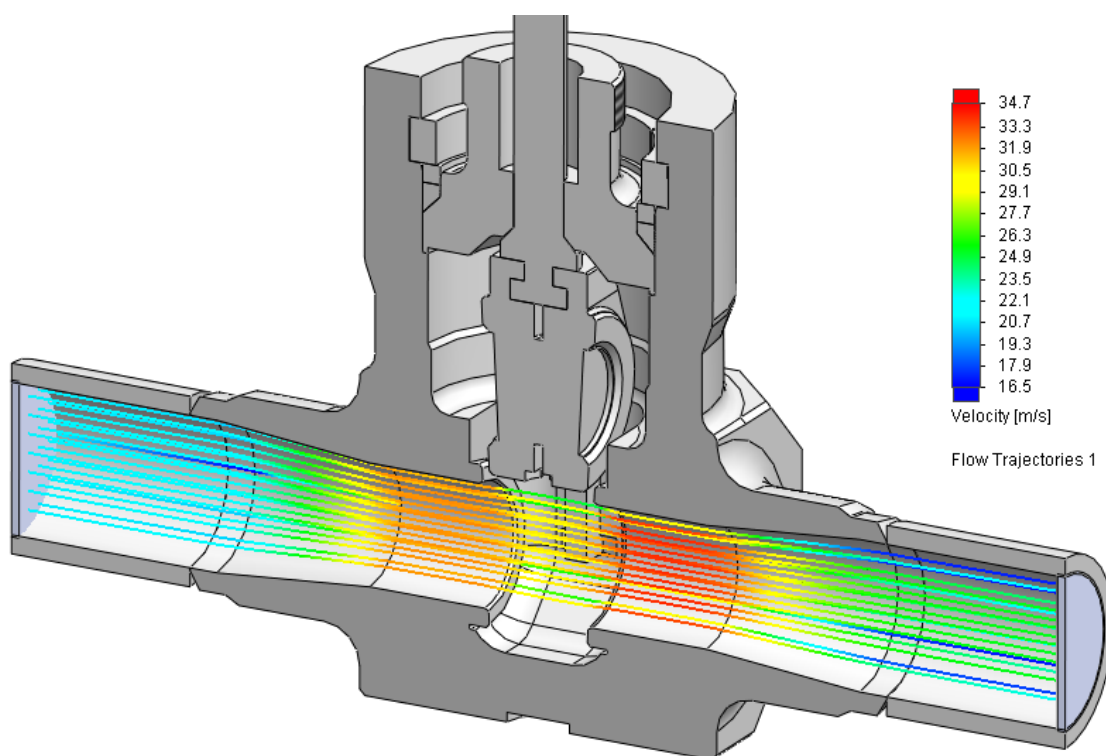
$$\zeta = \frac{DN^4}{K_v^2 \cdot 625} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \leq 1 \quad (5.1)$$

$$\zeta = \frac{80^4}{377,5^2 \cdot 625} = \underline{0,46}$$

Kované šoupátko DN80/65 PN320 **VYHOVUJE** podmínce velikosti koeficientu ztrátového součinitele.

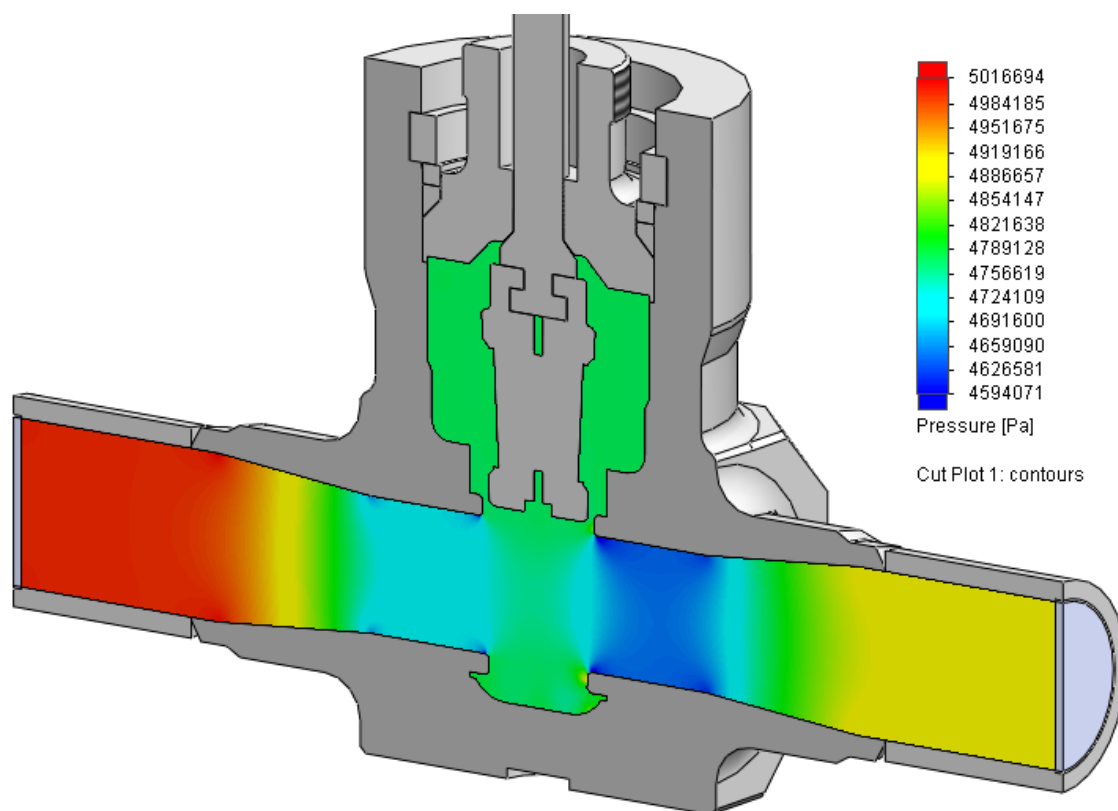


Obr. 5.1 Řez sítí vnitřního objemu armatury



Obr. 5.2 Řez zobrazení změny rychlosti při průtoku armaturou

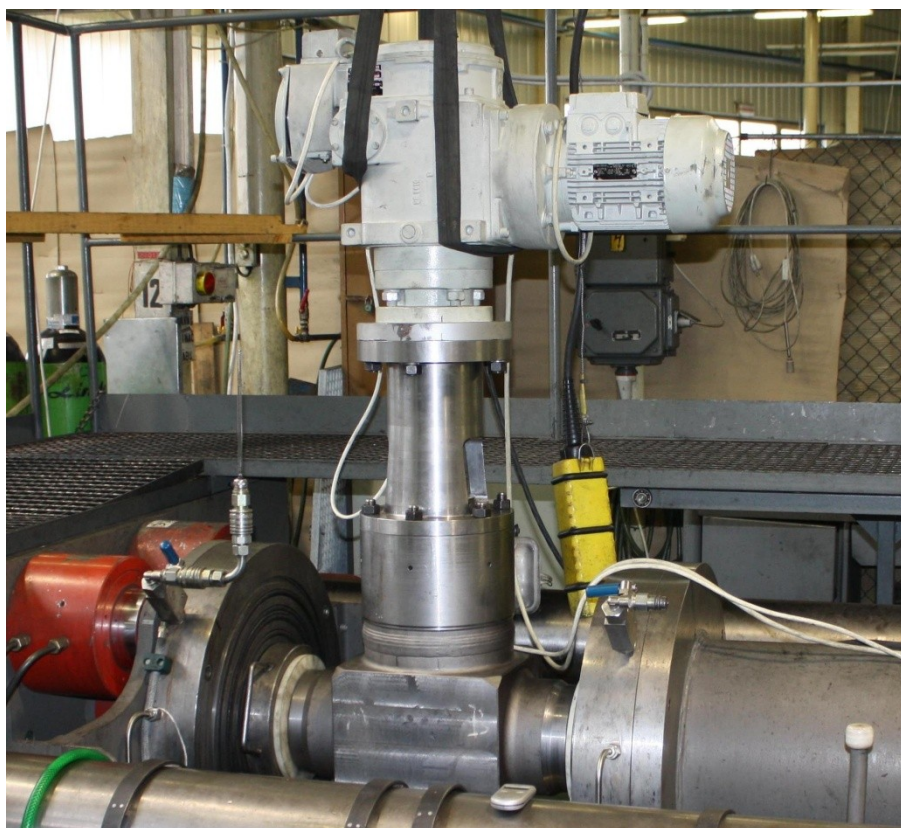




Obr. 5.3 Řez zobrazení změny tlaku při průtoku armaturou

## 6 Závěr

Výsledkem bakalářské práce je kované šoupátko S43 DN80/65 PN320 v konstrukčním provedení se samotěsnícím tlakovým víkem. V úvodu byly stanoveny cíle, kterých mělo být dosaženo. Nyní v závěru práce lze konstatovat, že stanovené cíle byly splněny. Byl vypracován konstrukční návrh kovaného šoupátka dle příslušných norem a byly zpracovány návrhové a kontrolní výpočty šoupátka. Součástí vývojového úkolu VU03/2010 firmy Arako spol. s r.o. bylo vyrobení prototypové armatury k provedení tlakových zkoušek a následnému cyklování v počtu 1000 cyklů otevřeno/uzavřeno při 20°C. Pro cyklování kovaného šoupátka byl použitý pohon ZPA-Pečky MODACT MONED 52032.6121 NED(rozsah momentů 160 - 250 Nm).V průběhu cyklování byla vždy po 100 cyklech odzkoušena oboustranně těsnost armatury dle EN 12 266-1 [1], kdy nebyl nikdy překročen stupeň netěsnosti „B“. Po provedení všech zkoušek byla armatura rozebrána a zkontrolována. Zaznamenáno bylo jen přípustné opotřebení těsnících ploch na tělese a klínu. Pro další použití doporučuji repasi kovaného šoupátka výměnnou ucpávkového těsnění, těsnění v samotěsnícím víku a přelapováním těsnících ploch na tělese a klínu.



Obr. 6.1 Zkoušení kovaného šoupátka S43

## 7 Seznam použité literatury

### Knihy a příručky:

- [1] ČSN EN 12 266 – 1. *Průmyslové armatury - Zkoušení armatur - Část 1: Tlakové zkoušky, postupy zkoušek a přejímací kritéria - Závazné požadavky.*  
Třídící znak 13 3003.
- [2] RIND, P. *Potrubní armatury v elektrárnách.* Praha, 1954.
- [3] ČSN EN 12 516 – 2. *Průmyslové armatury – Pevnostní návrh pláště – Část 2: Metoda výpočtu pro ocelové pláště armatur.* Český normalizační institut, 2005.  
Třídící znak 13 3011
- [4] KTA 3201.2. *Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren – Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung.* 1996.
- [5] ČSN EN 13 445 – 3. *Netopené tlakové nádoby – Část 3: Konstrukce a výpočet.* Český normalizační institut, 2010. Třídící znak 69 5245
- [6] GUSHU. *Těsnicí technika.* Katalog
- [7] TP 422-21-60/12. *Technické podmínky pro dodávku armatur určených pro energetická zařízení. Šoupátka kovaná DN50/50-350/275, PN160-320.* Arako Opava, 2012
- [8] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky.* 3. přepr.vyd. Praha: Scientia, 1999, 985 s.  
ISBN 80-7183-164-6
- [9] NP-068-05. *Všeobecné technické požadavky na armatury pro zařízení a potrubí JE.* Moskva, 2005.
- [10] BOLEK, A., KOCHMAN, J. a kol.: *Části strojů. Technický průvodce 1. svazek a 2. Svazek.* SNTL, Praha 1990.

## 8 Seznam příloh

NÁZEV	OZNAČENÍ	FORMÁT
Kované šoupátko	S43.03JDA	A2
Těleso úplné	8454.503xs	A1
Tlakové víko	5919.023-s	A3
Těsnění	2478.102	A4
Kroužek	2215.302-s	A4
Dělený kroužek	2205.102-s	A4

### **Použitý software:**

Microsoft Office Word 2007

Microsoft Office Powerpoint 2007

Microsoft Office Excel 2007

SolidWorks Professional 2011

SolidWorks Simulation Professional 2011

Solidworks Flow Simulation 2011